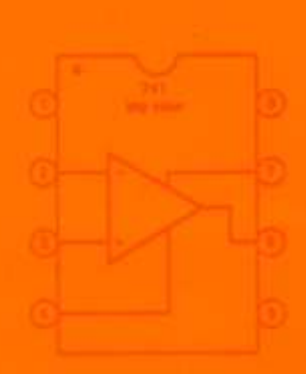
موسوعة الالكترونيات الصناعية العملية

(٣)

الكترونيات القدرة وتطبيقاتها العملية







م. أحمد عبد المتعال



موسوعة الالكترونيات الصناعية

الكترونيات القدرة وتطبيقاتها العملية

١

بسم الله الرحمن الرحيم

موسوعة الإلكترونيات الصناعية العملية

إلكترونيات القدرة وتطبيقاتها العملية

م. أحمد عبد المتعال

دار النشر للجامعات - مصر
١٦ ش عدلى - الدور الثالث - القاهرة
ص ب ١٣٠ محمد فريد - ت: ٢٩٢١٤٣٤ - فاكس: ٣٩١٢٢٠٩

الطبعة الأولى

١٤١٨هـ - ١٩٩٨م

رقم الإيداع : ٧٧٥٤ / ٩٧

الترقيم الدولى : ٤-٦٠-٥٥٢٦-٩٧٧

I.S.B.N. 977-5526-60-4

دار النشر للجامعات - مصر

١٦ ش عدلى - الدور الثالث - القاهرة

ص . ب ١٣٠ محمد فريد - ت: ٣٩٣١٤٣٤ - فاكس: ٣٩١٢٢٠٩

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ رب أوزعنى ان أشكر نعمتك التى أنعمت علىَّ وعلى والدى وأن أعمل صالحاً ترضاه وأصلح لى فى ذريتى إنى تبت إليك وإنى من المسلمين ﴾

صدق الله العظيم

شكر وتقدير

اتقدم بخالص الشكر للدكتور خالد السيد صالح - الأستاذ المساعد بكلية الهندسة جامعة عين شمس بقسم القوى والآلات الكهربية .

كما أتقدم بخالص الشكر للمهندس محمود جمال أحمد عبد الستار - المهندس بمركز تنمية التصميمات الصناعية بالقاهرة .

على تعاونهما الصادق معنا فى إعداد هذا الكتاب .

ولا يفوتنى أيضاً أن أتقدم بالشكر الجزيل لكل من ساهم معنا فى إعداد هذا الكتاب .. وجزاهم الله خير الجزاء ...

المؤلف

الطبعة الأولى

١٤١٨هـ - ١٩٩٨م

رقم الإيداع : ٧٧٥٤ / ٩٧

الترقيم الدولي : ٤-٦٠-٥٥٢٦-٩٧٧

I.S.B.N. 977-5526-60-4

دار النشر للجامعات - مصر

١٦ ش عدلي - الدور الثالث - القاهرة

ص . ب ١٣٠ محمد فريد - ت: ٣٩٣١٤٣٤ - فاكس: ٣٩١٢٢٠٩

الباب الأول

أشباه الموصلات



أشباه الموصلات

١ / ١ - مقدمة :

استخدمت فى السابق الرليهات الكهرومغناطيسية ELectromagnetic Relays فى التحكم فى الآلات الكهربية، ولكن وجد أن للرليهات الكهرومغناطيسية الكثير من العيوب .

فهى بطيئة فى الأداء ويصعب استخدامها فى التحكم فى سرعة المحركات الكهربية، كما أنها مرتفعة السعر ولها عمر محدد نتيجة لتآكل نقاط تلامسها .

من أجل ذلك اتجه المصممون إلى استخدام أشباه الموصلات للتحكم فى الآلات الكهربية، حيث الأداء الأفضل، والسعر المنخفض، وإمكانية التحكم فى سرعة المحركات وبدئها فى آن واحد، وهذا يتوفر فى أنظمة التحكم الحديثة فى المحركات الكهربية .

وسوف نتناول فى هذا الباب موجزاً عن أشباه الموصلات المستخدمة فى التحكم فى الأحمال الكهربية (محركات كهربية – سخانات – لمبات إضاءة ..... إلخ) .

ويمكن تقسيم أشباه الموصلات إلى قسمين أساسيين، وهما :

١ – أشباه موصلات القوى Power Semi Conductors . وهى تستخدم فى التحكم فى الجهود والتيارات الكبيرة .

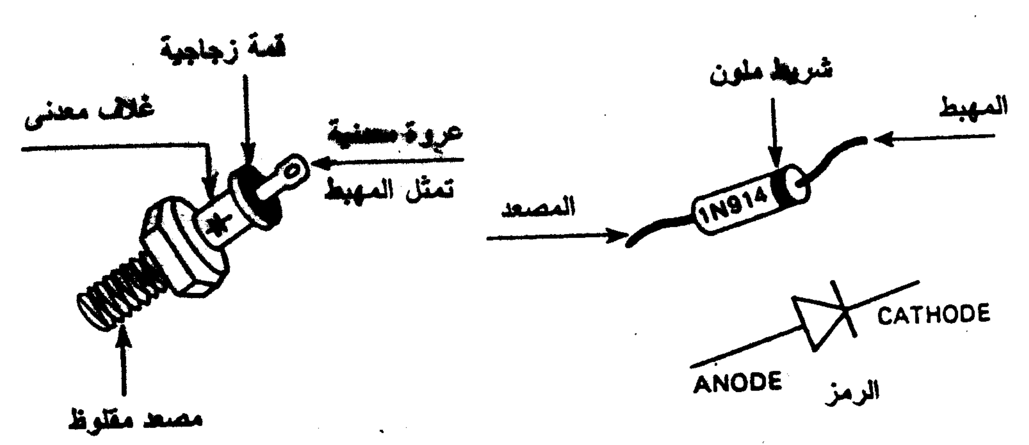
٢ – أشباه موصلات الإشارة Signal Semi Conductors . وهى تستخدم فى عمليات التحكم كعناصر ثانوية .

والجدير بالذكر أن أكثر عناصر أشباه الموصلات تتواجد فى صورتين، صورة تستخدم مع التيارات والجهود الكبيرة، وصورة أخرى تستخدم مع التيارات والجهود المنخفضة .

١ / ٢ - الثنائيات (الموحدات) Diodes (Rectifiers) :

يتكون الثنائى عادة من وصلة ثنائية P-N مصنوعة من اشباه موصلات مثل السليكون Si أو الجرمانيوم Ge. ويتواجد الثنائى عادة فى الأسواق على شكل اسطوانة، مرسوم عليها شريط ملون على أحد الجانبين؛ للدلالة على مكان المادة N (السالبة)، والتى تمثل المهبط Cathode. اما الجانب الآخر فيمثل المادة P (الموجبة)، والتى تمثل المصعد Anode.

والشكل (١ - ١) يعرض نموذجاً لثنائى صغير طراز IN914 ورمزه، وكذلك صورة لثنائى كبير.



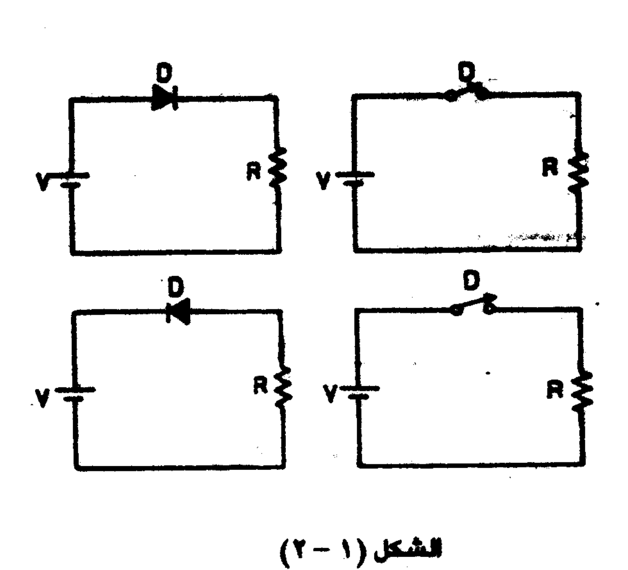
الشكل (١ - ١)

ويعتبر الثنائى فى الوضع الطبيعى كمفتاح مفتوح، وحتى يعمل الثنائى كمفتاح مغلق يجب تعريضه لانحياز أمامى Forward Bias اى تعريض المصعد لجهد موجب وتعريض المهبط لجهد سالب، ويكون اتجاه مرور التيار من المصعد إلى المهبط، ويقال: إن الثنائى فى حالة وصل ON.

أما إذا تعرض الثنائى لانحياز عكسى Reverse Bias اى تعرض المهبط لجهد موجب بالنسبة لجهد المصعد، فإنه يمر تيار تسرب صغير جداً Leakage Current، ويعمل الثنائى فى هذه الحالة كمفتاح مفتوح، ويقال: إن الثنائى فى حالة قطع Off.

والشكل (١ – ٢) يبين طريقة عمل الثنائى.

والجدير بالذكر أن ثنائى الجرمانيوم يتحول لحالة الوصل عندما يتعرض لفرق جهد أكبر من 0.3V بين المصعد والمهبط، ويكون فقد الجهد فيه 0.3V تقريباً.



الشكل (١ – ٢)

أما ثنائى السليكون فيتحول لحالة الوصل عند تعريضه لفرق جهد أكبر من 0.6V، حيث إن فقد الجهد فيه يساوى 0.6V تقريباً.

والجدير بالذكر أن ثنائى السليكون هو السائد تقريباً فى الأسواق لأنه أكثر استقراراً فى درجات الحرارة العالية.

وتستخدم الثنائيات على نطاق واسع فى دوائر التوحيد Rectification circiuts، وتقوم دوائر التوحيد بتحويل التيار المتردد Ac إلى تيار مستمر.

وتنقسم دوائر التوحيد إلى نوعين، وهما:

١ – دوائر توحيد أحادية الوجه، وتنقسم بدورها إلى:

أ – دائرة توحيد نصف موجة.

ب – دائرة توحيد موجة كاملة باستخدام محول بنقطة منتصف.

جـ – دائرة توحيد موجة كاملة باستخدام قنطرة توحيد ذات الأربع ثنائيات.

٢ – دوائر توحيد ثلاثية الوجه، وتنقسم بدورها إلى:

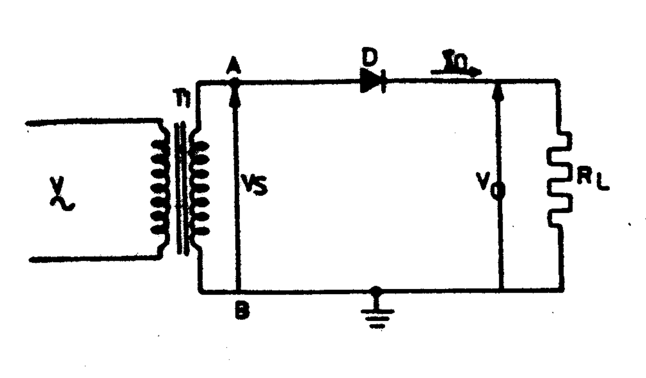
أ – دائرة توحيد نصف موجة.

ب – دائرة توحيد موجة كاملة.

١ / ٢ / ١ – دوائر التوحيد الأحادية الوجه :

أولا : دوائر التوحيد النصف موجة :

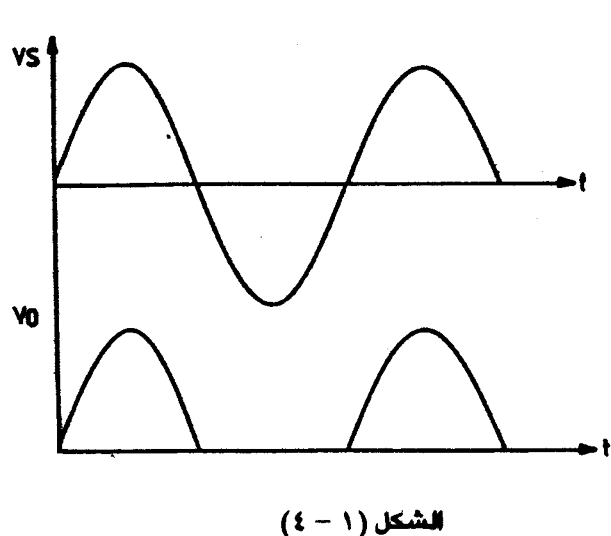
الشكل (١ – ٣) يعرض دائرة توحيد نصف موجة، فعندما يكون فرق الجهد بين النقطة A والنقطة B أكبر من 0.7V فإن الثنائى D يتحول لحالة الوصل ON.



الشكل (١ – ٣)

وهذا يؤدى لوصول التيار الكهربى إلى المقاومة R_L وبمجرد انخفاض فرق الجهد بين النقطة A والنقطة B عن 0.7V فإن الثنائى سوف يتحول لحالة الفصل OFF، وفى هذه الحالة ينقطع مرور التيار الكهربى والمقاومة R_L وهكذا.

والشكل (١ – ٤) يبين شكل موجة الجهد V_S على أطراف الملف الثانوى للمحول T_1، وكذلك شكل موجة الجهد V_O على أطراف المقاومة R_L فى دائرة التوحيد النصف موجة المبينة بالشكل (١ –٣)، ويلاحظ أن نصف الموجة

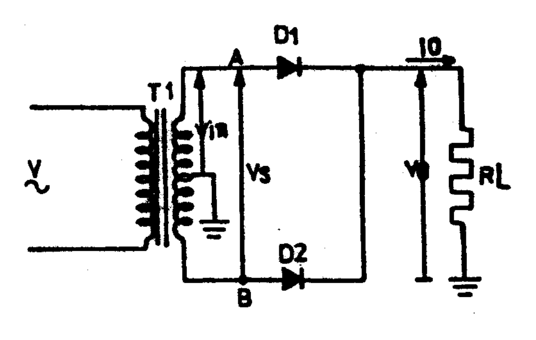


الشكل (١ – ٤)

الموجب هو فقط الذى يظهر على أطراف المقاومة R_L .

ثانيا : دائرة توحيد الموجة الكاملة :

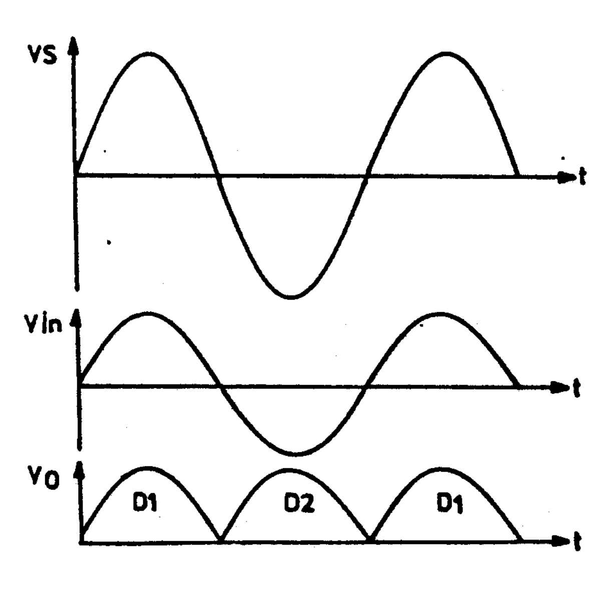
الشكل (١ – ٥) يعرض دائرة توحيد موجة كاملة باستخدام محول له نقطة تفرع من المنتصف، فعندما يكون الطرف A موجباً فإن الثنائى D_1 سيكون فى حالة وصل ON، ويمر التيار الكهربى خلاله وصولاً للمقاومة R_L ، وذلك فى نصف الموجة الموجب للجهد V_S وعندما يكون جهد الطرف B موجباً فإن الثنائى D_2 سيكون فى حالة وصل ON، ويمر التيار الكهربى خلاله وصولاً للمقاومة R_L ، وذلك خلال نصف الموجة السالب للجهد V_S .



الشكل (١ – ٥)

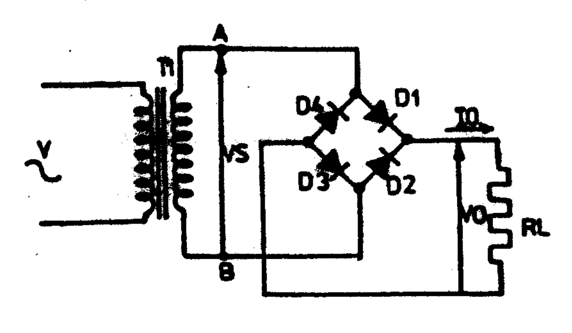
والشكل (١ – ٦) يبين شكل موجة الجهد للملف الثانوى V_S وموجة الجهد بين النقطة A ونقطة المنتصف أو النقطة B ونقطة المنتصف V_{in}، وكذلك موجة الجهد الخارج على أطراف المقاومة V_O .

ويلاحظ أن الجهد V_{in} يساوى نصف الجهد V_S ويلاحظ أيضاً أن الجهد على المقاومة R_L جهد مستمر متغير القيمة.



الشكل (١ – ٦)

أما الشكل (١ – ٧) فيعرض دائرة توحيد موجة كاملة باستخدام قنطرة توحيد،



الشكل (١ – ٧)

ففى نصف الموجة الموجب لجهد الملف الثانوى V_S فإن الطرف A يكون موجباً فيمر التيار الكهربى فى المسار:

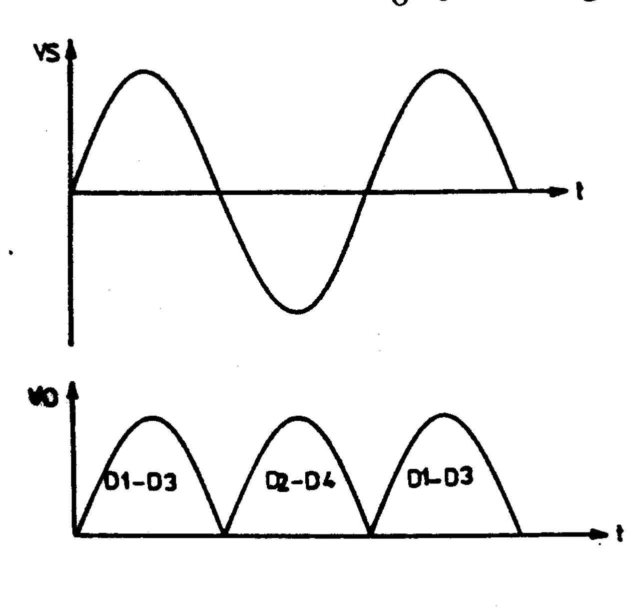
$$A \rightarrow D_1 - R_L \rightarrow D_3 \rightarrow B$$

وفى نصف الموجة السالب لجهد الملف الثانوى V_S فإن الطرف B يكون موجباً فيمر التيار الكهربى فى المسار:

$$B \rightarrow D_2 \rightarrow R_L \rightarrow D_4 \rightarrow A$$

وبالتالى نحصل على جهد مستمر عند الحمل.

والشكل (١ – ٨) يبين شكل موجة الجهد للملف الثانوى V_S وكذلك موجة الجهد الخارج على أطراف المقاومة V_O.



الشكل (١ – ٨)

والجدول (١ – ١) يعقد مقارنة بين خواص دوائر التوحيد السابقة.

الجدول (١ – ١)

وجه المقارنة	دائرة توحيد نصف موجة	محول بنقطة منتصف	قنطرة توحيد
الجهد الخارج V_O	$0.45\ V_S$	$0.45\ V_S$	$0.9\ V_S$
التيار الخارج I_O	$0.64\ I_S$	$1.27\ I_S$	$0.9\ I_S$
سعة المحول V_A	$3.5\ I_O\ V_O$	$1.74\ I_O\ V_O$	$1.23\ I_O\ V_O$
جهد الملف الثانوى للمحول V_S	$2.2\ V_O$	$2.2\ V_O$	$1.1\ V_O$
التيار المار بالثنائى I_D	I_O	$0.5\ I_O$	$0.5\ I_O$
الجهد العكسى الأقصى للثنائى (PIV)	$3.14\ V_O$	$3.14\ V_O$	$1.57\ V_O$

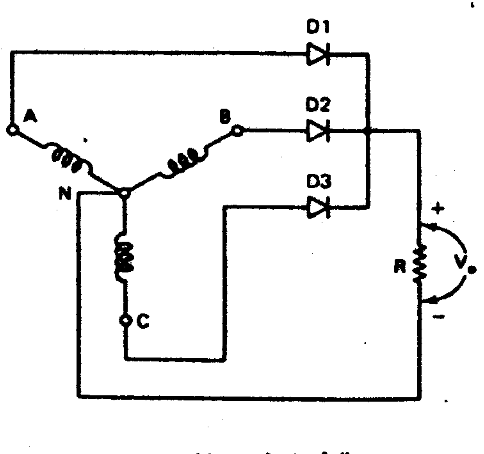
حيث إن :

I_S تيار الملف الثانوى للمحول

١ / ٢ / ٢ – دوائر التوحيد الثلاثية الأوجه :

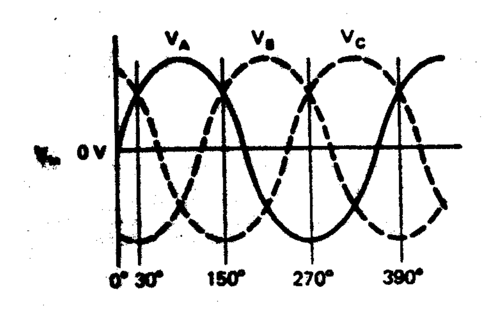
أولا : دائرة توحيد نصف موجة :

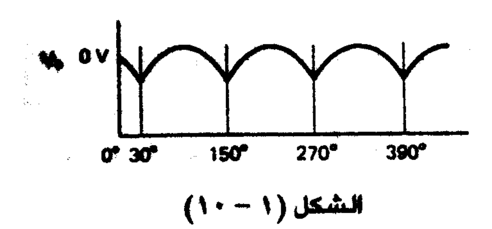
الشكل (١ – ٩) يبين دائرة توحيد نصف موجة ثلاثية الوجه، حيث يتحول الثنائى الذى له أعلى جهد لحالة الوصل، وينتقل أعلى جهد عبر هذا الثنائى لمهبط الثنائيين الآخرين فيتحولان لحالة القطع؛ لذلك يصبح فى كل لحظة ثنائى واحد فى حالة وصل والاثنان الآخران فى حالة قطع وهذا مبين بالشكل (١ – ١٠).



الشكل (١ – ٩)

ويلاحظ من هذه المنحنيات أنه فى الفترة $0 - 30°$ يكون الجهد V_{CN} أعلى جهد فيتحول الثنائى D_3 لحالة





الشكل (١ - ١٠)

الوصل وينتقل الجهد V_{CN} للمقاومة R ليكون V_O.

وفى الفترة 30° - 150° فإن اعلى جهد موجب هو V_{AN} فيتحول D_1 لحالة الوصل وينتقل الجهد V_{AN} للمقاومة R ليكون V_O.

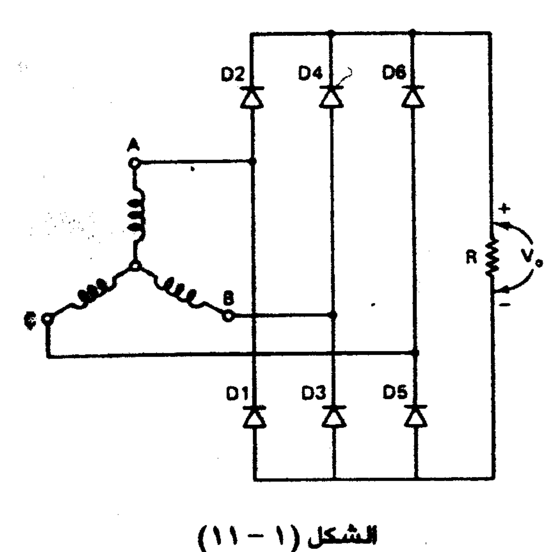
وفى الفترة 150° - 270° يكون V_{BN} هو اعلى جهد موجب وينتقل الجهد V_{BN} للمقاومة R ليكون V_O.

وفى الفترة 270° - 390° فإن الجهد V_{CN} يكون اعلى جهد موجب وينتقل الجهد V_{CN} للمقاومة R ليكون V_O.

ويكون تردد موجة الخرج مساوياً ثلاث مرات من تردد المصدر المتردد.

ثانياً : دائرة توحيد الموجة الكاملة :

الشكل (١ - ١١) يعرض دائرة توحيد موجة كاملة ثلاثية الأوجه.



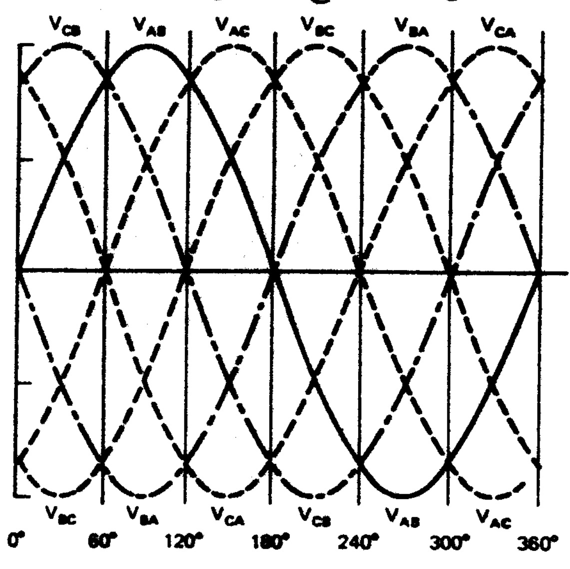
الشكل (١ - ١١)

وعادة يكون هناك ثنائيان فى حالة ON فى أى لحظة، فى حين تبقى أربعة ثنائيات فى حالة قطع OFF، ويكون احد الثنائيات من الثنائيات الفردية D_1، D_3، D_5 والآخر من الثنائيات الزوجية D_2، D_4، D_6.

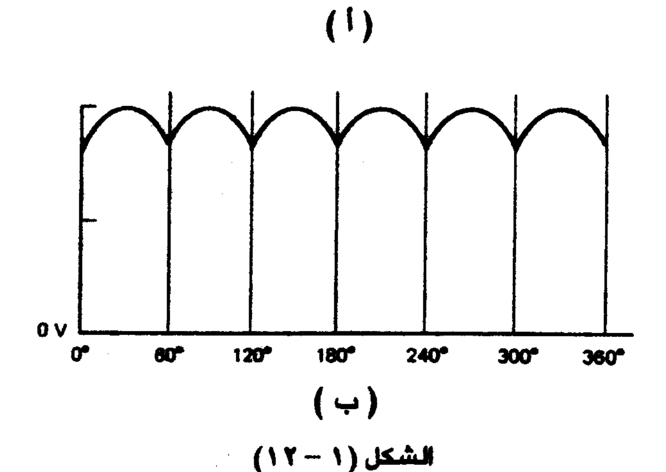
وعادة يمر التيار الكهربى من المصدر من الخط الذى له أعلى جهد موجب فى الثنائى الزوجى

عبر الحمل ثم عبر الثنائى الفردى الذى يؤدى إلى خط المصدر الذى له أعلى جهد سالب؛ ولذلك يمكن تحديد مسار التيار فى أى لحظة بتحديد الطرف الأعلى جهداً موجباً والطرف الأعلى جهداً سالباً، ويقوم الطرف الموجب بتحويل الثنائى الزوجى الخاص به لحالة الوصل ON، ويقوم الطرف السالب بتحويل الثنائى الفردى الخاص به لحالة الوصل.

والشكل (١ - ١٢) يعرض شكل موجات الجهد للأوجه الثلاثة ومعكوسهم (الشكل أ)، وكذلك شكل موجة الخرج Vo على المقاومة R (الشكل ب).



(أ)



(ب)

الشكل (١ - ١٢)

والجدول (١ - ٢) يبين الأوجه الأعلى - جهد موجب، والأعلى - جهد سالب، وكذلك الثنائيات التى فى حالة وصل فى كل فترة.

الجدول (١ - ٢)

الفترة / وجه المقارنة	300 : 360	240 : 300	180 : 240	120 : 180°	60 : 120	0 - 60
الوجه الأعلى جهد موجب	C	B	B	A	A	C
الوجه الأعلى جهد سالب	A	A	C	C	B	B
الثنائى الزوجى الذى فى حالة وصل	D_6	D_4	D_4	D_2	D_2	D_6
الثنائى الفردى الذى فى حالة وصل	D_1	D_1	D_5	D_5	D_3	D_3

والجدير بالذكر انه لتعيين الوجه الأعلى جهداً موجباً نتبع الآتى:

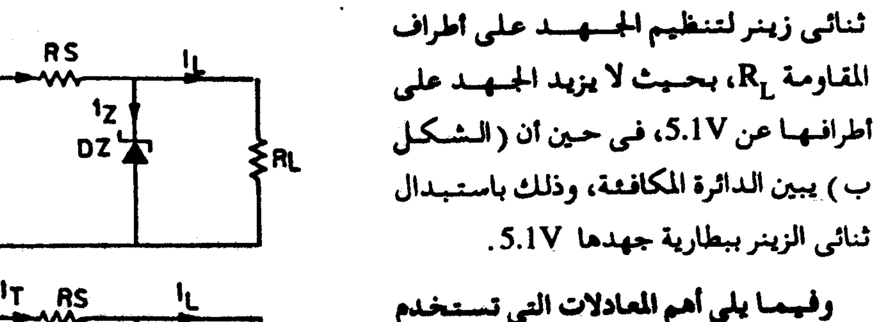
فى الفترة 60° - 0 يكون V_{BC} هو اعلى فرق جهد سالب، اى ان V_{CB} هو اعلى فرق جهد موجب، اى ان الوجه C هو اعلى جهد موجب، والوجه B هو اعلى جهد سالب، وايضاً الفترة 120° - 60، فإن V_{AB} هو اعلى جهد موجب، اى ان الوجه A له أعلى جهد موجب، والوجه B له أعلى جهد سالب، وهكذا.

١ / ٢ / ٣ - ثنائى الزينر Zener Diode :

إن ثنائى الزينر هو ثنائى سليكونى له خواص تسمح بإمرار جهد مستمر ثابت فى الانحياز العكسى، وهو يشبه فى الشكل الثنائى العادى.

فعندما يتعرض ثنائى الزينر لانحياز أمامى يعمل كثنائى عادى ويتحول لحالة الوصل ON ويمر التيار الكهربى ويكون فرق الجهد بين طرفيه مساوياً 0.6 : 0.7V تقريباً، وعند تعريض ثنائى الزينر لانحياز عكسى فإن ثنائى الزينر يكون فى حالة قطع فى البداية، وبمجرد زيادة الجهد عن جهد الانهيار للثنائى يتحول الثنائى لحالة الوصل، ويمر تيار كبير فيه، ويكون فرق الجهد على طرفى الثنائى مساوياً جهد الزينر.

ويستخدم ثنائى الزينر لتنظيم الجهد . والشكل (١ - ١٣) يبين دائرة تستخدم ثنائى زينر لتنظيم الجهد على أطراف المقاومة R_L، بحيث لا يزيد الجهد على أطرافها عن 5.1V، فى حين أن (الشكل ب) يبين الدائرة المكافئة، وذلك باستبدال ثنائى الزينر ببطارية جهدها 5.1V .



الشكل (١ - ١٣)

وفيما يلى أهم المعادلات التى تستخدم مع ثنائى الزينر :

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} \rightarrow 1.1$$

$$I_Z = \frac{V - V_Z}{R_S} - I_L \rightarrow 1.2$$

$$P_Z = V_Z I_Z \rightarrow 1.3$$

حيث إن :

V جهد المصدر .

V_Z الجهد على أطراف ثنائى الزينر.

I_Z التيار المار فى ثنائى الزينر.

I_L تيار الحمل .

P_Z القدرة المستهلكة فى ثنائى الزينر ويجب الا تتعدى القيمة المسموح بها من ورق البيانات .

١ / ٢ / ٤ - الثايركتور The Thyrector :

يعمل الثايركتور كما لو كان ثنائيا زينر موصلين معاً خلفاً لخلف، وهو يستخدم لخمد قفزات الجهد المفاجئة أثناء العبور Transient، وهو يتحول لحالة الوصل فى كلا الاتجاهين عند تعدى جهد الدائرة جهده الأقصى، وعادة يكون أحد الثنائين منحازاً أمامياً والثانى يعمل كثنائى زينر، وبهذه الطريقة يقوم الثايركتور بخفض

جهد الشبكة للجهد المقنن.

وفيما يلى رمز الثايركتور:



١ / ٣ - الترانزستور Transistor :

يعتبر الترانزستور من أشهر أشباه الموصلات، وهو يستخدم كعنصر قدرة وعنصر إشارة.

ويمكن تقسيم الترانزستورات بصفة عامة إلى :

١ - ترانزستور ثنائى القطبية BJT .

٢ - ترانزستور تأثير المجال الالتصاقى JFET .

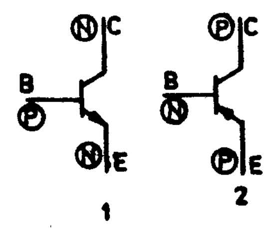
٣ - ترانزستور تأثير المجال أكسيد المعدن شبه الموصل MOSFET .

٤ - ترانزستور أحادى الوصلة UJT .

٥ - ترانزستور أحادى الوصلة القابل للبرمجة PUT .

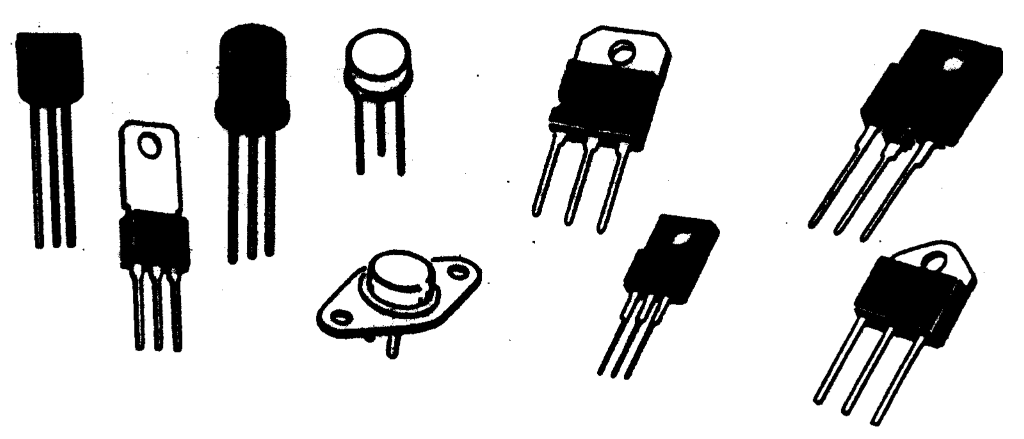
١ / ٣ / ١ - الترانزستور الثنائى القطبية BJT :

للترانزستور الثنائى القطبية ثلاثة أرجل، وهى القاعدة Base والباعث Emitter والمجمع Collector، ويصنع الترانزستور من ثلاث طبقات من أشباه الموصلات، وهذه الطبقات بعضها سالب N وبعضها موجب P، وتقسم الترانزستورات حسب قطبية هذه الطبقات إلى ترانزستورات NPN، تتألف من طبقتين سالبتين N وطبقة موجبة P، وترانزستورات PNP تتألف من طبقتين موجبتين وطبقة سالبة N. وفيما يلى رموز هذه الترانزستورات:



فالرمز 1 لترانزستور NPN، والرمز 2 لترانزستور PNP.

والشكل (١ - ١٤) يعرض صوراً مختلفة للترانزستورات الموجودة فى الأسواق، سواء كانت ترانزستورات إشارة أو ترانزستورات قدرة.



الشكل (١ - ١٤)

ويعتبر الترانزستور الثنائى القطبية فى حالة فصل فى الحالة الطبيعية، أى أن تيار مجمعه يساوى صفراً، وعند تعريض القاعدة والباعث لانحياز أمامى وتعريض القاعدة والمجمع لانحياز عكسى يتحول الترانزستور لحالة الوصل.

فمثلا : بالنسبة للترانزستور NPN عندما يكون جهد القاعدة أعلى من جهد الباعث وعندما يكون جهد المجمع أعلى من جهد القاعدة يتحول الترانزستور لحالة الوصل، والعكس بالعكس بالنسبة للترانزستور PNP.

وعلى كل حال فمعظم ترانزستورات القدرة تكون NPN؛ لذا سوف نتناول هذا النوع على وجه الخصوص.

وعادة يستخدم الترانزستور ثنائى القطبية كمفتاح فى دوائر التحكم فى المحركات، فعندما يكون تيار القاعدة مساوياً صفراً فإن هذا يمثل حالة القطع Cut off للترانزستور، ولكن عند مرور تيار قاعدة كاف فإن الترانزستور يتشبع Saturate ويتحول لحالة الوصل الكامل Fully ON ويمر تيار كبير فى المجمع.

وعادة فإن فرق الجهد الفعلى بين مجمع وباعث الترانزستور عندما يكون فى حالة تشبع (وصل كامل) 0.2 : 0.4V.

وتعرف النسبة بين تيار المجمع وتيار القاعدة بمعامل تكبير الترانزستورات

أو بكسب التيار Current gain ويطلق عليها بيتا β او hFE .

$$hFE = \beta = \frac{I_C}{I_B} \rightarrow 1.4$$

وتتراوح قيمة β للترانزستورات ما بين 300 : 35 والقيمة الطبيعية لها 100 .

وعادة يستخدم الترانزستور كمكبر Amplifier او كمفتاح Switch. وعادة يستخدم فى مجال التحكم كمفتاح.

وفى الشكل (١ – ١٥) دائرة بسيطة لترانزستور NPN ومقاومتان .

حيث إن :

V_{CC} جهد البطارية.

V_{in} جهد إشارة الدخل بين القاعدة والباعث.

V_{CE} فرق الجهد بين المجمع والباعث.

V_{BE} فرق الجهد بين القاعدة والباعث.

VCC
IC
RC
VCB
VI
RB
VCE
IB
VBE
IE
RE

الشكل (١ – ١٥)

والجدول (١ – ٣) يعرض علاقات التيار وقيم V_{CE} ، V_{BE} عند حالات التشغيل المختلفة للترانزستور.

الجدول (١ – ٣)

علاقات التيار	V_{CE}	V_{BE}	الحالة
$I_B = I_C = 0$	$= V_{CC}$	$< 0.6V$	CUT OFF قطع
$I_C = \beta I_B$ $I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_L}$	$> 0.8V$	0.6- 0.7	تكبير Amplification
$I_B \geq 2.5 \frac{I_{CS}}{\beta}$ $I_B = \frac{V_C - 0.7}{R_B}$	0.2V	0.7 - 0.8V	تشبع (وصل كامل) Saturation

حيث إن:

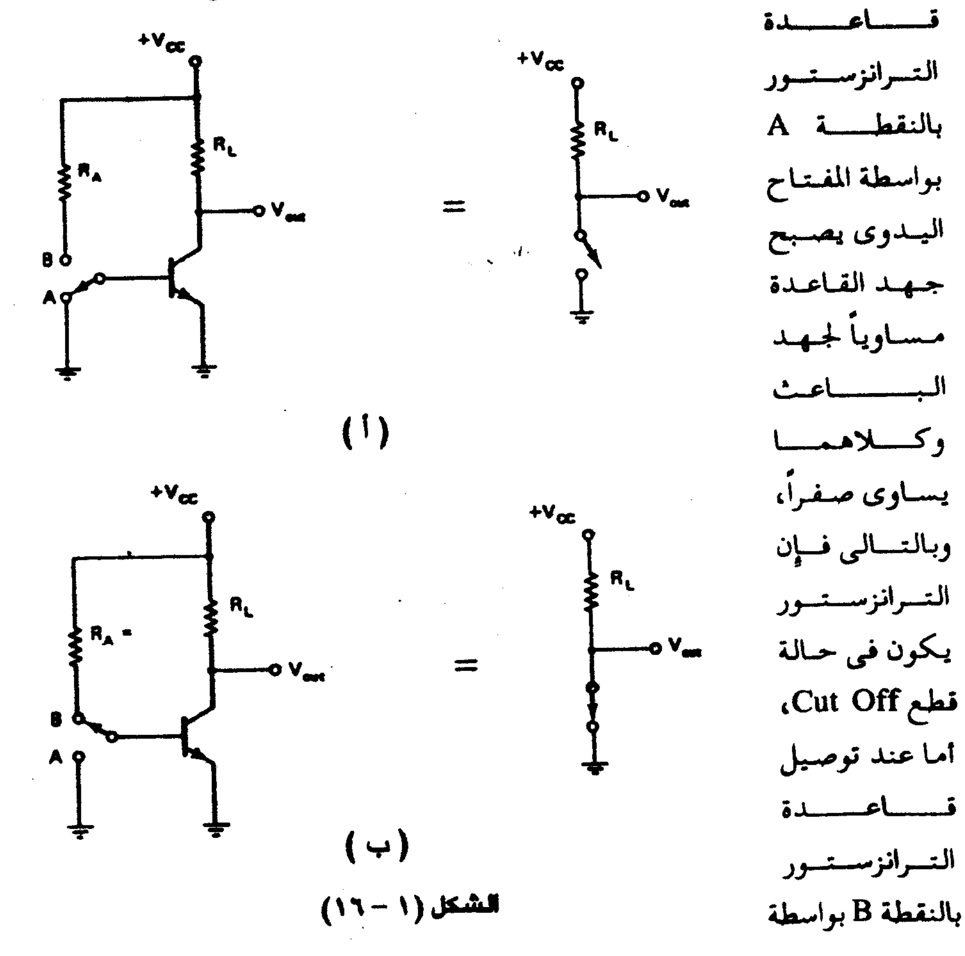
I_{CS} تيار المجمع عند التشبع.

والمعادلة التالية تعطى القدرة المستهلكة فى الترانزستور P_t عندما يكون فى حالة تكبير أو تشبع:

$$P_t = V_{CE} \times I_C + V_{BE} \times I_B \rightarrow 1.5$$

ويجب مراعاة عدم تعدى القدرة المستهلكة (المشتتة) Dissipated Power فى الترانزستور عند القيم الموصى بها فى ورق البيانات Data Sheets للترانزستور.

والشكل (١ - ١٦) يوضح طريقة عمل الترانزستور كمفتاح، فعند توصيل قاعدة الترانزستور بالنقطة A بواسطة المفتاح اليدوى يصبح جهد القاعدة مساوياً لجهد الباعث وكلاهما يساوى صفراً، وبالتالى فإن الترانزستور يكون فى حالة قطع Cut Off، أما عند توصيل قاعدة الترانزستور بالنقطة B بواسطة



الشكل (١ - ١٦)

المفتاح اليدوى يصبح جهد القاعدة أعلى من جهد الباعث، أى يصبح هناك انحياز أمامى بين القاعدة والباعث، وبالتالى فإن الترانزستور سيكون فى حالة وصل ON، ويمكن تمثيله بمفتاح مغلق.

ويراعى ألا يتعدى تيار المجمع الحدود القصوى المنصوص عليها فى ورق بيانات الترانزستور Data Sheet.

والجدير بالذكر أنه يمكن زيادة كسب الترانزستورات بتوصيلها معاً، كما هو مبين بالشكل (١ - ١٧)، ويكون معامل الكسب الكلى مساوياً حاصل كسب الترانزستورات المنفردة.

ففى (الشكل أ) فإن معامل كسب التيار الكلى يساوى β:

$$\beta = \beta_1 \times \beta_2 \rightarrow 1.6$$

حيث إن:

β_1 معامل كسب التيار للترانزستور Q_1

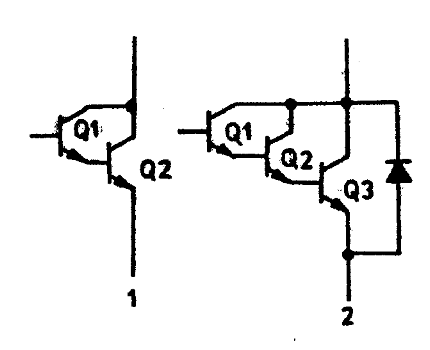
β_2 معامل كسب التيار للترانزستور Q_2

وفى (الشكل ب) فإن معامل كسب التيار الكلى β يساوى:

$$\beta = \beta_1 \times \beta_2 \times \beta_3 \rightarrow 1.7$$

حيث إن:

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ معامل كسب الترانزستورات Q_1, Q_2, Q_3 بالترتيب.

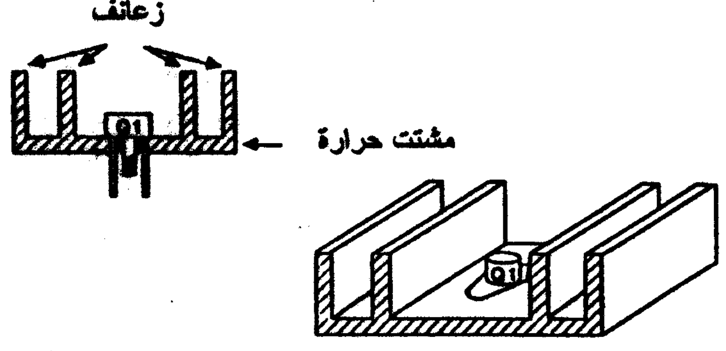


الشكل (١ - ١٧)

وتسمى هذه التوصيلة بتوصيلة دار لنجتون Darlington. ويوجد ترانزستورات تحتوى على هذه التوصيلة داخل قالب واحد، ولها ثلاثة أرجل فقط، وتسمى بترانزستورات دار لنجتون، وهى تستخدم فى دوائر القدرة ويصل تيارها إلى 300 A مستمر.

وتتحمل فرق جهد على أطرافها (المجمع - الباعث) عندما تكون فى حالة قطع يساوى 1000V ، وتتحول لحالة الوصل فى زمن 2.5 μs وتصل القدرة المشتتة فيها إلى 600W. ويصل معامل كسبها 100 عندما يكون تيار مجمعها 300A، أى أنه يحتاج لتيار قاعدة مقداره 3A لتشغيلها.

والشكل (١ - ١٨) يعرض طريقة تثبيت ترانزستور قدرة على مشتت حرارى Heat Sink.



الشكل (١ - ١٨)

وهناك بعض الأمور التى تحدد استخدام الترانزستورات الثنائية القطبية فى التحكم فى المحركات مثل: القيمة العظمى لتيار المجمع. ففى الوضع الطبيعى للتشغيل فإن تيار المجمع يساوى حاصل ضرب تيار القاعدة فى معامل كسب التيار β. وعند زيادة تيار المجمع لسبب من الأسباب مع ثبات تيار القاعدة فإن ذلك سوف يؤدى لفقد كبير فى القدرة.

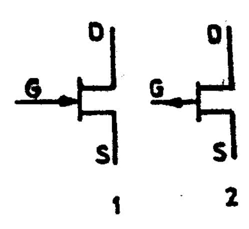
وأيضا عند زيادة تيار القاعدة عن مستوى تيار القاعدة اللازم لتشبع الترانزستور فإن هذا سوف يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة الترانزستور ويقلل من كفاءة الترانزستور.

كما أن الترانزستورات تتعرض للتلف بفعل الجهود والتيارات العابرة Transient.

١ / ٣ / ٢ - ترانزستور تأثير المجال الالتصاقي JFET :

يصنع ترانزستور JFET من قناة موجبة P أو سالبة N، وله ثلاثة أطراف، وهى المصرف Drain (D)، والمصدر أو المنبع Source (S)، والبوابة Gate(G).

وفيما يلى رموز ترانزستورات المجال الالتصاقية



فالرمز 1 لترانزستور JFET بقناة N. والرمز 2 لترانزستور JFET بقناة P. والفرق بين الرمزين فى اتجاه السهم الموضوع على البوابة فالسهم الداخل يعنى ترانزستور بقناة N. والسهم الخارج يعنى ترانزستور بقناة P.

والجدير بالذكر أن ترانزستور JFET ذا القناة N هو الأكثر انتشاراً.

ويؤدى المصدر والمصرف والبوابة نفس وظائف الباعث والمجمع والقاعدة للترانزستور ثنائى القطبية (BJT).

علماً بأن ترانزستور JFET يتم التحكم فيه بجهد الدخل وليس بالتيار، كما هو الحال فى التزانزستور ثنائى القطبية.

فعند تعريض بوابة ومصرف ترانزستور JFET بقناة N لفرق جهد يساوى صفراً، يصبح الترانزستور فى حالة توصيل كامل (تشبع) ويمر أقصى تيار للمصرف، ويكون فرق الجهد بين المصرف والمصدر أقل ما يمكن.

وعندما يصبح فرق الجهد بين البوابة والمصرف بالسالب يقل تيار المصرف، ويقل التيار كلما ازداد انخفاض الجهد عن الصفر حتى ينعدم. ولذلك يعتبر ترانزستور JFET ذو قناة N فى حالة وصل طبيعى Normally oN .

وعادة يستخدم ترانزستور JFET كعنصر إشارة.

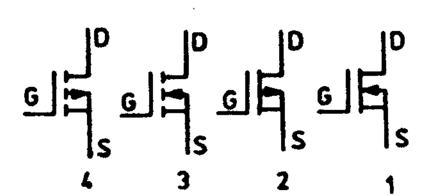
١ / ٣ / ٣ - ترانزستور تأثير المجال أكسيد المعدن شبه الموصل MOSFET :

أحياناً يطلق على ترانزستور MOSFET بترانزستور تأثير المجال ذات البوابة المعزولة IG FET. ويوجد نوعان من هذا الترانزستور، وهما :

١- ترانزستور نوع النضوب Depletion type .

٢- ترانزستور نوع التعزيز Enhancement type .

وكلاهما له ثلاثة أطراف تشبه أطراف ترانزستور JFET . وفيما يلي رموز ترانزستورات MOSFET :



فالرمز1 لترانزستور نوع النضوب بقناة N. والرمز 2 لترانزستور نوع النضوب بقناة P. والرمز 3 لترانزستور نوع التعزيز بقناة N. والرمز 4 لترانزستور نوع التعزيز بقناة P.

والفرق بين ترانزستور MOSFET نوع النضوب وترانزستور MOSFET نوع التعزيز فى قطبية فرق الجهد بين البوابة والمصدر V_{GS} والذى يعمل عنده كلاهما، فيعمل ترانزستور النضوب بقناة N عندما يكون فرق الجهد V_{GS}بالموجب أو السالب، ويزداد تيار المصرف I_D بزيادة فرق الجهد عند القطبية الموجبة ويقل بزيادة فرق الجهد عند القطبية السالبة؛ ولذلك يمكن اعتباره ترانزستور فى حالة توصيل طبيعى.

والجدير بالذكر أن ترانزستور MOSFET نوع التعزيز بقناة N هو أغلب أنواع ترانزستورات MOSFET انتشاراً، حيث يستخدم عادة كعنصر قدرة . ولقد استطاعت ترانزستورات MOSFET التغلب على مشكلة كبيرة موجودة فى

الترانزستورات الثنائية القطبية وهى كبر تيار تشغيلها (تيار القاعدة). فمثلا: يبلغ تيار التشغيل لترانزستور دارلنجتون معامل كسبه 100 وتيار مجمعه 300A فيكون تيار قاعدته 3A، ويظهر هذا العيب بصورة أوضح فى ترانزستورات القدرة Power transistors المنفردة لانخفاض معامل كسبها، فقد يصل تيار قاعدة ترانزستور قدرة تيار مجمعه 300A ومعامل كسبه 10 حوالى 30A.

فى حين يتم التحكم فى ترانزستور MOSFET نوع التعزيز بقناة N وذلك بتسليط فرق جهد موجب بين البوابة والمصدر. ونظراً لمقاومة الدخل الكبيرة لترانزستور MOSFET فإن تيار بوابة الترانزستور يكون بالميكرو امبير.

ومن أهم المعاملات Parameters التى تؤخذ فى الاعتبار عند التعامل مع ترانزستورات المجال هو الموصلية الانتقالية (g_{fs}) transconductance وتساوى:

$$g_{fs} = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} \rightarrow 1.8$$

حيث إن:

ΔI_D التغير فى تيار المصرف والناتج عن التغير فى فرق الجهد بين البوابة والمصدر.

ويوجد أنواع من ترانزستوات القدرة MOSFET تصل جهود تشغيلها إلى 650V وتيار تشغيلها إلى 100A.

وتتميز ترانزستورات MOSFET بالسرعات العالية جداً مقارنة بالترانزستورات ثنائية القطبية، فقد تصل سرعة ترانزستورات MOSFET إلى (5nS)، اى ($5 \times 10^{-9}S$). كما يمكن توصيل أكثر من ترانزستور MOSFET بالتوازى لزيادة سعة التيار، وهذا بالطبع لا يمكن تنفيذه مع ترانزستورات BJT.

وهذه المميزات العظيمة دفعت المصممين للاتجاه إلى ترانزستورات MOSFET نوع التعزيز فى التحكم فى القدرة.

ويعاب على ترانزستورات MOSFET بحساسيتها العالية التى قد تؤدى لتلفها

قبل الاستخدام إذا لم يتعامل معها بحذر.

وفيما يلى أهم الملاحظات التى تراعى عند التعامل مع ترانزستورات تأثير المجال:

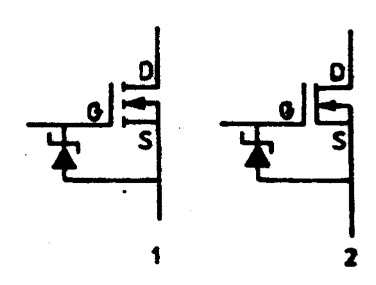
١- يجب فصل التيار الكهربى عن الدائرة أثناء رفع الترانزستور من الدائرة، وذلك لمنع تولد الجهود العابرة التى تتلف الترانزستور.

٢- يتم توصيل معصم اليد للقائم بإصلاح الدوائر التى تحتوى على ترانزستورات MOSFET بأرضى الدائرة أو أرضى الشاسية.

٣- يتم تأريض كاوية اللحام جيداً ولا تستخدم كاوية اللحام التى على شكل مسدس.

والجدير بالذكر ان معظم الانواع الجديدة من ترانزستورات **MOSFET** الموجودة بالأسواق تحتوى على ثنائى زينر بين البوابة والمصدر لمنع ارتفاع V_{GS} لقيم غير آمنة 15V، وبالتالى تحمى الترانزستور من الجهود العابرة بالدائرة، وكذلك عند النقل والتداول نتيجة لانتقال الشحنات الإستاتيكية من الاجسام الخارجية إلى أرجل الترانزستور بفعل الاحتكاك. وعادة تقوم الشركات المصنعة بقصر أرجل الترانزستور بحلقة معدنية أو سلك أو صفيحة رقيقة لحماية الترانزستور.

وفيما يلى رموز ترانزستورات **MOSFET** التى تحتوى على ثنائى زينر:

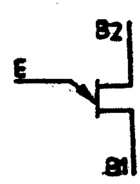


فالرمز 1 الترانزستور **MOSFET** نوع التعزيز. والرمز 2 لترانزستور **MOSFET** نوع النضوب.

١ / ٣ / ٤ - الترانزستور الأحادى الوصلة UJT :

يستخدم هذا الترانزستور عادة كعنصر إشارة، وله ثلاثة أطراف، وهى القاعدة الأولى B_1 والقاعدة الثانية B_2 والباعث E، وهو يشبه الترانزستور الثنائى القطبية لحد كبير.

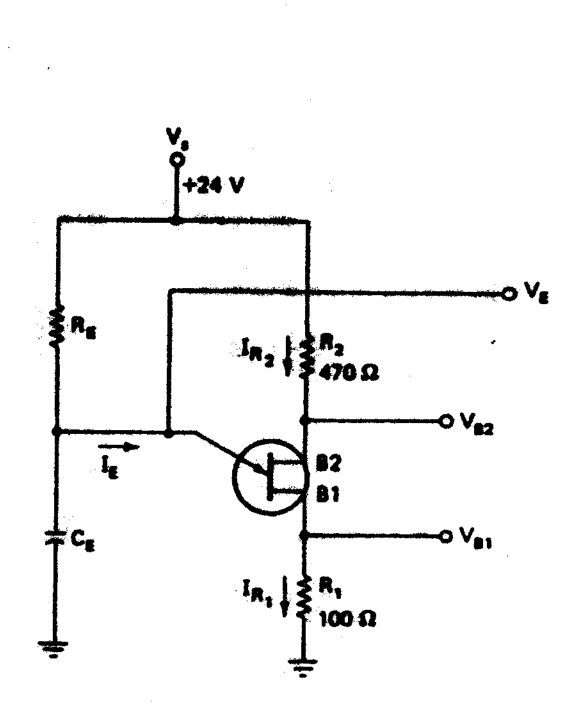
وفيما يلى رمز UJT :

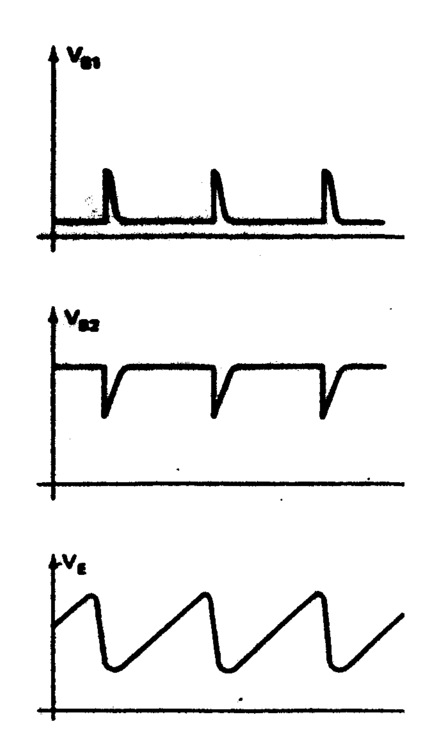


والجدير بالذكر أن UJT يعتبر فى حالة قطع طبيعى، وعندما يرفع الجهد بين الباعث E والقاعدة B_1 ليصل للجهد الأقصى V_P والذى يعتمد على خواص UJT يتحول لحالة الوصل ويظل على هذه الحالة حتى عند انخفاض الجهد بين الباعث والقاعدة ليصل للجهد الادنى V_V والذى يعتمد على خواص UJT فيتحول لحالة القطع.

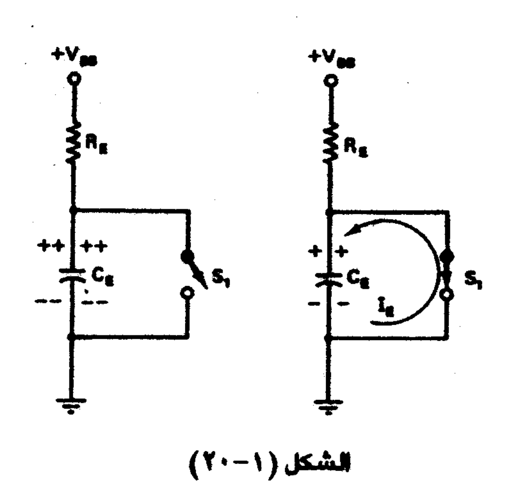
وعادة يستخدم UJT فى بناء المذبذبات وكذلك فى دوائر إشعال الثايرستور والترياك كما سيتضح فيما بعد.

والشكل (١-١٩) يعرض دائرة مذبذب متراخى UJT Relaxation oscillator باستخدام UJT مع مقاومة R_E ومكثف C_E وفى نفس الشكل موجات الجهود V_{B2}، V_{B1}، V_E.





الشكل (١-١٩)



الشكل (١-٢٠)

ولفـــهـم نظرية عـــمـل هذه الدائرة سنستبدل UJT بمفتاح S_1، كما بالشكل (١-٢٠).

فعندما يكون S_1 مفتوحاً فإن المكثف C_1 سوف يشحن وصولاً للجهد $(V_{BB}-V_{RE})$. حيث إن V_{BB} هو جهد المصدر المستمر، V_{RE} هو فقد الجهد فى المقاومة R_E، ويتم ذلك فى زمن يساوى R_EC_E، وعند غلق المفتاح S_1 فإن المكثف C_E سوف يفرغ شحنته فى زمن يساوى $(O*C_E)$ ، أى صفر ثانية، حيث إن مقاومة المفتاح تساوى صفراً.

وبهذه الطريقة يمكن تفسير شكل الموجة الخارجة على الطرف E، حيث يعمل

UJT كمفتاح مفتوح اثناء شحن المكثف C_E وصولاً لجهد تشغيل الترانزستور، فيتحول لحالة الوصل كمفتاح مغلق، فيحدث تفريغ للمكثف وصولاً للجهد الذى يتحول فيه الترانزستور مرة أخرى لحالة القطع كمفتاح مفتوح وهكذا.

ونحصل على تردد الموجات الخارجة من الباعث E من المعادلة التالية:

$$F = \frac{1}{R_E C_E} \rightarrow 1.9$$

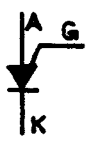
ولكى نصل لتفسير مقبول لشكل الجهد على B_2 يجب أن نتذكر أنه قبل إشعال UJT فإن المقاومة بين المقاومتين B_2 و B_1 تكون كبيرة، فهى تتراوح ما بين $4 : 10K\Omega$

وحيث إن المقاومة R_2 و R_1 تكون عادة صغيرة مقارنة بالمقاومة بين القاعدتين؛ لذلك فإن الجهد عند القاعدة B_2 سيساوى تقريباً V_{BB} عندما يكون الترانزستور في حالة قطع، وعند إشعال UJT فإن المقاومة بين القاعدتين ستقل إلى الربع تقريباً أثناء فترة تفريغ المكثف C_E، مما يؤدى لانخفاض فجائى للجهد على القاعدة B_2، وبالطبع فإن الجهد على القاعدة B_1 هو معكوس الجهد على القاعدة B_2 .

١ / ٣ / ٥ - الترانزستور الأحادى الوصلة القابل للبرمجة (PUT):

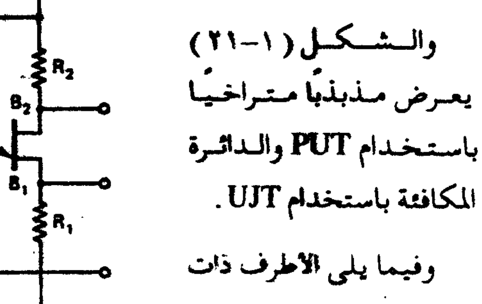
ترانزستور PUT له نفس خواص UJT، عدا أنه يمكن التحكم فى الجهد V_p الذى يعمل (يشتعل) عنده الترانزستور. ولهذا الترانزستور ثلاثة أطراف وهى المصعد Anode والمهبط cathode والبوابة Gate .

وفيما يلى رمز PUT :



ويتميز PUT بأن سرعته عند الوصل والفصل تصل 1/10 من سرعة UJT، كما أنه أكثر استقراراً عند تغير درجات الحرارة.

والشكل (١-٢١) يعرض مذبذباً متراخياً باستخدام PUT والدائرة المكافئة باستخدام UJT.



الشكل (١-٢١)

وفيما يلي الأطرف ذات المخارج المتماثلة في كل من UJT، PUT:

V_G يقابل VB_2

V_K يقابل VB_1

V_A يقابل V_E

والجدير بالذكر أن الجهد الأقصى للمصعد والذى يعمل عند PUT نحصل عليه من المعادلة:

$$V_P = V_G + 0.7 \quad \rightarrow \quad 1.10$$

ويمكن أن تكتب بصورة أخرى، كما يلى:

$$V_P = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} + 0.7 \rightarrow \quad 1.11$$

فى حين أن تردد الذبذبات الخارجة من المصعد A أو المهبط K أو البوابة G يساوى:

$$F = \frac{1}{R_A C_A} \quad (HZ) \rightarrow \quad 1.12$$

١ / ٤- الموحد السليكونى المحكوم (الثايرستور) SCR :

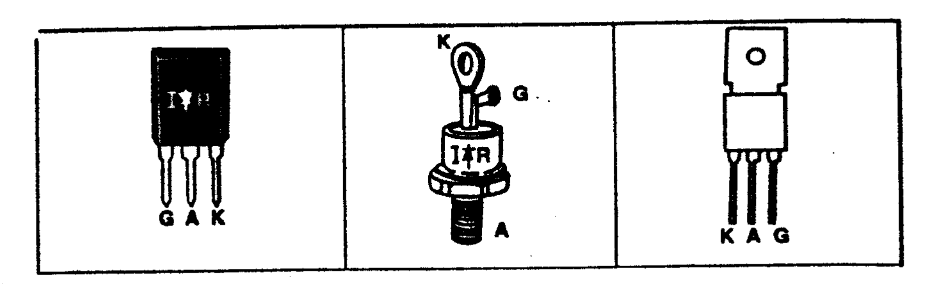
يستخدم الثايرستور عادة كعنصر قدرة وللثايرستور ثلاثة أطراف، وهى للمصعد (Anode)A والمهبط Cathode(K) والبوابة Gate (G) .

وفيما يلى رمز الثايرستور:



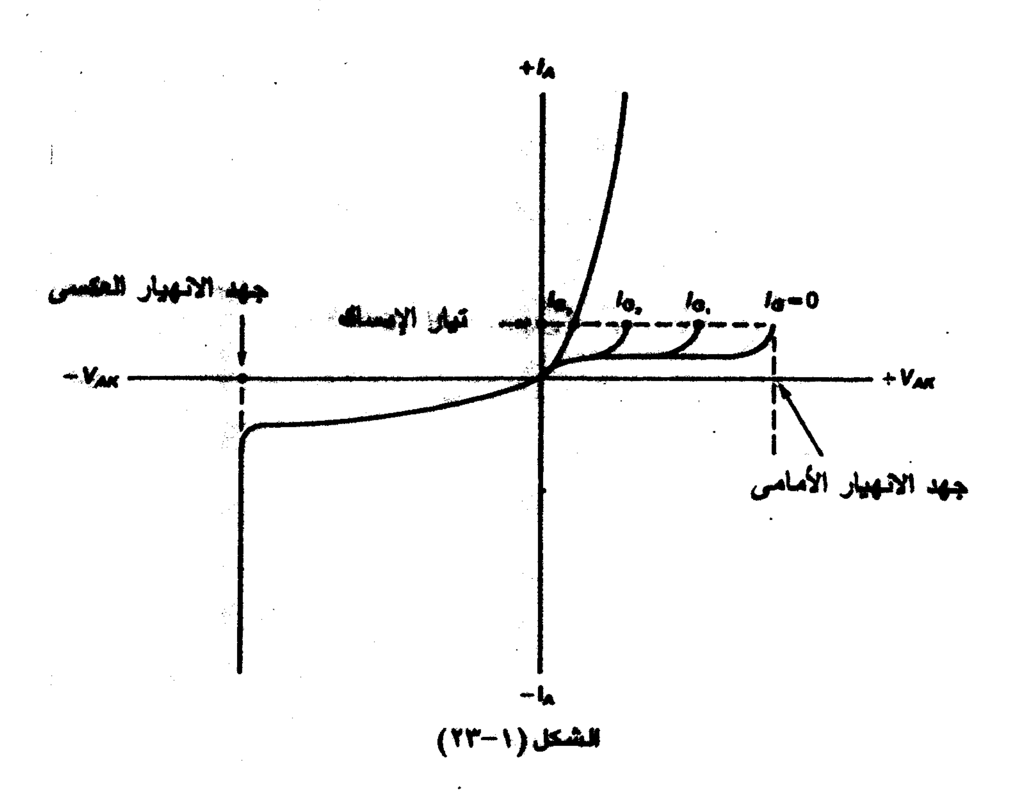
ويعمل الثايرستور كثنائى إذا كان منحازاً أمامياً ووصلت إشارة جهد موجبة بين البوابة والمهبط؛ ولذلك سمى بالموحد السليكونى المحكوم.

والشكل (١-٢٢) يعرض نماذج مختلفة للثايرستورات



الشكل (١-٢٢)

والشكل (١-٢٣) يعرض منحنى الخواص، والذى يبين العلاقة بين تيار المصعد وفرق الجهد بين المصعد والمهبط $I_A - V_{AK}$ عند قيم مختلفة لتيار البوابة I_G.



الشكل (١-٢٣)

وفيما يلى شرح منحنى الخواص للثايرستور:

١- إذا كان تيار البوابة يساوى صفراً ويرمز له بالرمز I_{GO} فإن الثايرستور يكون فى حالة قطع (فصل) OFF، ويكون هناك مقاومة كبيرة جداً بين المصعد والمهبط، ولكن إذا زاد الجهد بين المصعد والمهبط وصولاً لجهد الانهيار الامامى V_{BO} ففى هذه الحالة يتحول الثايرستور لحالة الوصل ويمر تيار المصعد. علماً بان الثايرستور غير مصمم للعمل بهذه الطريقة فمن المحتمل انهياره.

٢- عند وصول إشارة جهد موجبة بين البوابة والمهبط يمر تيار فى بوابة الثايرستور، وبالتالى فإن الجهد اللازم لتحويل الثايرستور لحالة الوصل ON سوف يقل عن V_{BO}، فكلما ازداد تيار البوابة I_G قل V_{AK} اللازمة لإشعال الثايرستور (لتحويل الثايرستور لحالة الوصل).

٣- بعد تحويل التايرستور لحالة الوصل يظل على هذه الحالة حتى بعد انخفاض

قيمة تيار البوابة I_G للصفر، ولكن بمجرد انخفاض تيار المصعد I_A عن تيار الإمساك I_H (وهو تيار المصعد الادنى الذى يحافظ على الثايرستور فى حالة وصل بعد إشعاله) يتحول الثايرستور لحالة الفصل.

والجدير بالذكر انه يجب توافر شرطين فى إشارة الجهد اللازمة لإشعال الثايرستور V_{GK}، وهما:

١- ان يكون زمن الإشارة كافياً لإحداث إشعال، ويجب الا يقل عن $10\mu s$.

٢- ان يكون التيار I_G المتولد نتيجة لتسليط إشارة الجهد V_{GK} كافيا لإحداث إشعال عند قيمة V_{AK}، علماً بأنه يطلق على أدنى جهد لازم لإشعال الثايرستور V_{GT} وادنى تيار بوابة لإشعال الثايرستور I_{GT}.

ويتحول الثايرستور لحالة الوصل فى زمن يتراوح ما بين ($1:5\mu S$)، ويجب الا يقل تيار البوابة اللازم لإشعال الثايرستور عن ($2: 4I_{GT}$).

١ / ٤ / ١ طرق إطفاء الثايرستور:

من المشاكل التى نتعرض لها فى دوائر الثايرستور مشكلة إطفاء الثايرستور، اى تحويله لحالة القطع، حيث يبقى الثايرستور فى حالة وصل طالما ان تيار المصعد I_A اكبر من تيار الإمساك I_H.

وهناك عدة طرق لإطفاء الثايرستور نذكر منها:

١- استخدام الثايرستور فى دوائر التيار المتردد. فمن المعروف ان الموجة الجيبية للتيار المتردد تصل للصفر مرتين فى الدورة الواحدة، وحيث إن الثايرستور يعمل كموحد فإنه يعمل على إمرار نصف الموجة الموجب فقط، وبمجرد وصولها للصفر يحدث إطفاء ذاتيا للثايرستور Self Commutation ، ويتحول الثايرستور لحالة القطع إلى ان يتم إشعاله مرة أخرى.

٢- استخدام الثايرستور فى دوائر توحيد الموجة الكاملة غير المرشحة، حيث ينطفئ الثايرستور كلما أصبح فرق الجهد بين المصعد والمهبط مساوياً الصفر لانخفاض تيار البوابة فى هذه الحالة عن تيار الإمساك I_H.

٣- استخدام مفتاح يدوى أو مفتاح الكترونى بالتوازى مع الثايرستور، فبمجرد غلق المفتاح ينطفئ الثايرستور لتحول مسار التيار المار فى الثايرستور ليمر فى المفتاح.

٤- استخدام مفتاح يدوى بالتوالى مع الثايرستور، فبمجرد فتح المفتاح اليدوى ينطفئ الثايرستور لانعدام مرور التيار فى الثايرستور.

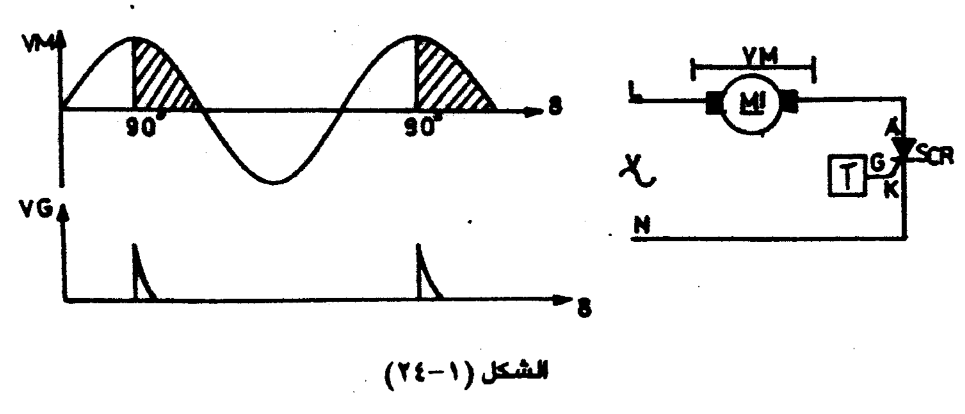
٥- توصيل مكثف مشحون بالتوازى مع الثايرستور بطريقة تجعل الثايرستور يتعرض لجهد معاكس بين المصعد والمهبط فيقل تيار المصعد I_A إلى قيمة أقل من تيار إمساك I_H، فيتحول الثايرستور لحالة القطع.

١ / ٤ / ٢- زاوية إشعال الثايرستور (α) Firing angle:

من أهم المصطلحات الفنية المستخدمة مع الثايرستور زاوية الإشعال α وهى الزاوية التى يتحول عندها الثايرستور من حالة القطع لحالة الوصل، وذلك لحظة وصول إشارة إشعال للبوابة.

والشكل (١-٢٤) يبين دائرة للتحكم فى محرك تيار مستمر مستخدمًا ثايرستور (الشكل أ) وشكل موجة الجهد على أطراف المحرك، وكذلك نبضات إشعال الثايرستور (الشكل ب).

ويلاحظ أن نبضة الإشعال تصل للبوابة عندما تكون $\alpha = 90^\circ$، ويكون الجهد على أطراف المحرك هو الجزء المهشر فقط أما باقى الموجة الموحدة فتكون على أطراف الثايرستور V_{AK}.



الشكل (١-٢٤)

ويعمل الثايرستور تمامًا كموحد، حيث يمنع وصول نصف الموجة السالب للمحرك، ويلاحظ أنه كلما ازدادت زاوية الإشعال قل جهد أطراف المحرك، ويساوى صفراً عندما تكون زاوية الإشعال α مساوية 180°، بينما يكون الجهد على الحمل أكبر ما يمكن عندما تكون زاوية الإشعال α مساوية للصفر.

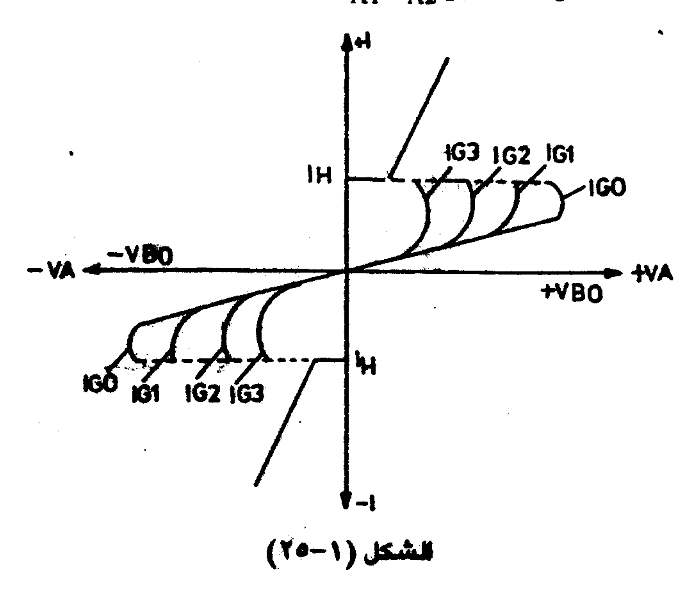
١ / ٥ – الترياك Triac:

يتميز الترياك عن الثايرستور بأنه يسمح بمرور التيار فى الاتجاهين. وللترياك ثلاثة أطراف تمامًا مثل الثايرستور، وهى: المصعد الأول ويرمز له A_1 أو T_1 أو MT_1، والمصعد الثانى ويرمز له A_2 أو T_2 أو MT_2، والبوابة ويرمز لها G.

وفيما يلى رمز الترياك:

T2/MT2/A2
G
T1/MT1/A1

والشكل (١–٢٥) يعرض منحنى الخواص، والذى يعطى العلاقة بين تيار المصعد I_A وفرق الجهد بين المصعدين V_{A1-A2}.



الشكل (١–٢٥)

ويلاحظ أن الترياك يسمح بمرور التيار فى الاتجاهين، ويتحول لحالة الوصل ON إما ذاتيًا عند وصول فرق الجهد بين للصعدين لجهد الانهيار الفوقى $+V_{BO}$، أو عند وصول نبضة تيار للبوابة، وذلك عند تحقق أحد الحالات التالية:

١- عندما يكون جهد MT_2 موجبًا وجهد البوابة G موجباً تصل نبضة موجبة، ويرمز لها عادة برمز I+.

٢- عندما يكون جهد MT_2 موجبا وجهد البوابة G سالبا تصل نبضة سالبة، ويرمز لها عادة بالرمز I-.

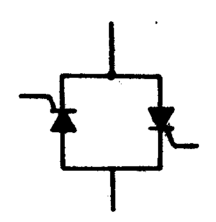
٣- عندما يكون جهد MT_2 سالبًا وجهد البوابة G موجبا تصل نبضة سالبة، ويرمز لها عادة بالرمز III+.

٤- عندما يكون جهد MT_2 سالبًا وجهد البوابة G سالبًا تصل نبضة سالبة، ويرمز لها بالرمز III-.

والجدير بالذكر أن حساسية الترياك تكون أكبر ما يمكن عند الحالة I+، III-، وتقل الحساسية نوعًا ما فى الحالة I-، وتكون الحساسية أقل ما يمكن فى الحالة III+، ولذلك لا تستخدم هذه الحالة عادة لإشعال الترياك.

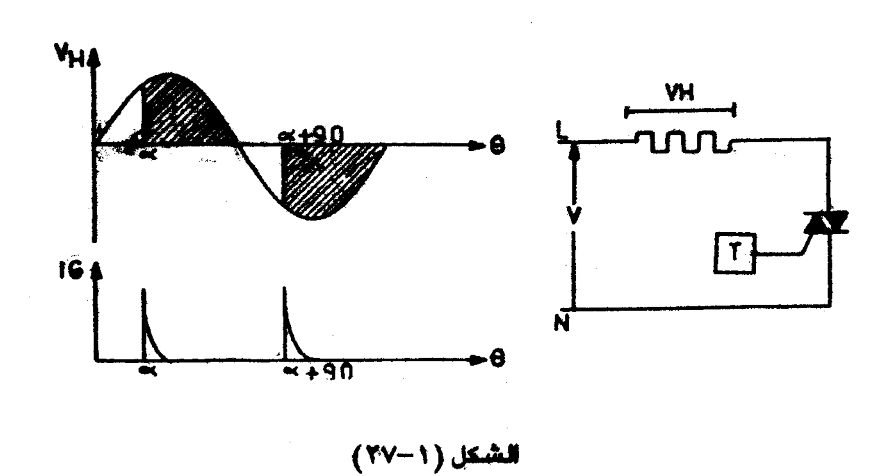
وهناك حدود لاستخدام الترياك فى التحكم فى دوائر القوى، وذلك لأن الحد الأقصى للجهد العكسى للترياكات يساوى 1000V وتيارها الأقصى 200A، كما أن تركيب الترياك يجعله مناسبًا عند الترددات 50:60HZ، فى حين أن الثايرستورات يمكن استخدامها عند ترددات تصل إلى 600HZ وكذلك عند الجهود والتيارات الفائقة. فعند التيارات والجهود العالية جداً يمكن استخدام عدد 2 ثايرستور موصلين خلفًا لخلف للحصول على مكافئ للترياك، وذلك عند عدم توفر ترياك يتحمل هذه التيارات وهذه الجهود.

والشكل (١-٢٦) يبين طريقة توصيل ثايرستورين للحصول على مكافئ الترياك.



الشكل (١-٢٦)

ولا تختلف زاوية إشعال الترياك α عن زاوية إشعال الثايرستور α . والشكل (١-٢٧) يبين دائرة ترياك تتحكم في سخان كهربي وشكل موجة الجهد على أطراف السخان V_H، وكذلك نبضات إشعال الترياك I_G .



الشكل (١-٢٧)

حيث إن :

T تعنى دائرة إشعال الترياك .

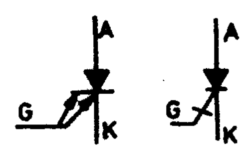
ويلاحظ أن نبضات الإشعال تصل لبوابة الترياك فى نصف الموجة الموجب، وكذلك نصف الموجة السالب، كما أن الترياك يمرر التيار فى الاتجاهين.

والجدير بالذكر أنه كلما ازدادت زاوية الإشعال قل الجهد المسلط على الحمل V_H (الجزء المهشر). فعندما تكون α مساوية 180° فإن الجهد المسلط على الحمل V_H سيساوى صفراً، وعندما تكون α مساوية 0° فإن الجهد المسلط على الحمل V_H سيكون أكبر ما يمكن.

١ / ٦ الثايرستورات ذات بوابة الإطفاء (GTO) Gate turn Off Thyristor:

تعد صفة الإمساك للثايرستورات العادية SCR'S من أهم عيوبها، حيث تظل الثايرستورات العادية فى حالة وصل ON إلى ان ينخفض التيار المار فيها عن تيار الإمساك. اما GTO فيمكن إشعاله وإطفاؤه فى اى لحظة. فعند وصول نبضة جهد موجبة للبوابة يشتعل GTO، وعند وصول نبضة جهد سالبة للبوابة ينطفئ GTO

ويلاحظ أن عدد أرجله ثلاثة، وهى المهبط (K) Cathode، والمصعد Anode (A)، والبوابة (G) Gate.



مميزات وعيوب GTO:

أولاً: مميزاته:

١- له سرعة وصل وفصل كبيرة جداً مقارنة بالثايرستورات المعتادة خصوصاً عند الترددات التى تصل إلى 10 KHZ.

٢- يمكن إشعالها بتيار بوابة يساوى عدة عشرات من الملى امبيرات، ويمكن إطفاؤها بتيار بوابة حوالى عدة مئات من الملى أمبيرات.

ثانياً: عيوبه:

١- ارتفاع فقد الجهد بين مصعده ومهبطه عند تحوله لحالة الوصل، فيصل فقد الجهد بين مصعده ومهبطة 3:4V، فى حين يتراوح فقد الجهد بين مصعد ومهبط الثايرستور العادى ما بين 1:2V.

والجدير بالذكر أنه يطلق أحياناً على GTO اسم مفتاح ببوابة تحكم

Gate Controlled Switch (GCS).

١ / ٧ عناصر الإشعال Trigger Devicee :

يوجد العديد من العناصر المستخدمة فى دوائر إشعال الثايرستورات والترياكات مثل :

١- الدياك Diac .

٢- المفتاح السليكونى الاحادى الاتجاه SUS وموحد شوكلى .

٣- المفتاح السليكونى الثنائى الاتجاه SBS .

٤- الترانزستور الأحادى الوصلة UJT (الفقرة ١ / ٣ / ٤) .

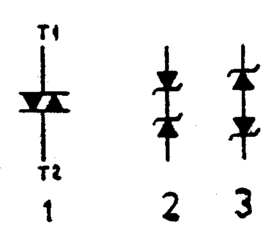
٥- الترانزستور الأحادى الوصلة القابل للبرمجة PUT (الفقرة ١ / ٣ / ٥) .

١ / ٧ / ١ الدياك Diac :

الدياك هو أحد العناصر العاملة بعد الانهيار الفوقى، وهو يندرج تحت عائلة الثايرستور، ويسمى أحياناً بالموحد الثنائى الاتجاه .

ويسمح الدياك بمرور التيار فى اتجاهين، ويعمل بدون بوابة تحكم، وله طرفان وهما T_2 ، T_1، وهو يسمح بإمرار التيار الكهربى عندما يصل فرق الجهد بين الطرفين T_1، T_2، الجهد الانهيار له . وعمل الدياك يشبه عمل عدد ثنائيين زينر متصلين وجهاً لوجه أو خلفاً لخلف .

وفيما يلى الرمز المكافئ للدياك والرموز المكافئة له :

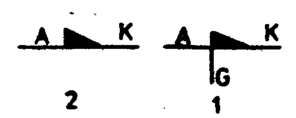


ويعتبر الدياك فى حالة قطع إلى أن يصبح الجهد بين طرفيه حوالى 32v ∓ تقريباً، حينئذ يتحول الدياك لحالة الوصل، وبمجرد انخفاض التيار المار فيه عن تيار الإمساك I_H يتحول الدياك لحالة القطع تماماً كالترياك، وهو يستخدم عادة فى إشعال الترياك .

١ / ٧ / ٢ المفتاح السليكونى الأحادى الاتجاه SUS وموحد شوكلى:

المفتاح السليكونى الاحادى الاتجاه SUS له ثلاثة أطراف، وهم: المصعد A والمهبط K والبوابة G. اما موحد شوكلى Schokley والذى يسمى احيانًا الموحد الرباعى الطبقات فله طرفان وهما المصعد A والمهبط k.

وفيما يلى رمز المفتاح السليكونى SUS (الرمز 1) ورمز موحد شوكلى (الرمز2):



ويتشابه كل من SUS وموحد شوكلى حيث يعمل كلاهما عند جهد انهيار امامى صغير يساوى 8v+ تقريبًا، فى حين أن جهد الانهيار العكسى لهما كبير يكافئ جهد الانهيار العكسى للثايرستور.

وعادة فإن المفاتيح السليكونية SUS الموجودة بالاسواق لها جهد انهيار أمامى فوقى يساوى 8v+ وتيار التشغيل اقل من 1A. وتستخدم المفاتيح السليكونية SUS فى دوائر إشعال الثايرستورات SCR'S، ويمكن تقليل جهد الانهيار الفوقى للمفتاح SUS، باستخدام ثنائى زنير، حيث يوصل مهبطه مع بوابة SUS، ويوصل مهبط الزنير مع بوابة SUS، فيهبط جهد الانهيار الامامى للمفتاح السليكونى SUS ليصل إلى 1V بدلاً من 8V.

أما موحدات شوكلى فيكون لها جهد انهيار فوقى يتراوح ما بين (10:400V) حسب الطراز، وتتحمل تيارات نبضية لفترة قصيرة تصل إلى 100A، وهى تستخدم أيضًا فى دوائر إشعال الثايرستورات SCR'S.

١ / ٧ / ٣ - المفتاح السليكونى ثنائى الاتجاه SBS:

لهذا العنصر ثلاثة أطراف، وهم: المصعد الاول A_1 والمصعد الثانى A_2 والبوابة G.

وفيما يلى رمز المفتاح السليكونى ثنائى الاتجاه SBS :

A2 A1 G

وتتميز المفاتيح السليكونية الثنائية الاتجاه بالمميزات التالية :

١- يتراوح جهد الانهيار الفوقى الذى يعمل عنده SBS (±8v) وهذا صغير بالمقارنة بجهد الانهيار الفوقى للدياك والذى يساوى +32V .

٢- ينخفض الجهد بين المصعدين ليصل إلى 1V بعد ان يعمل SBS وهذا غير متحقق بنفس الدرجة فى الدياك Diac .

٣- مستقرة عن درجات الحرارة المختلفة، حيث إن جهد الانهيار الفوقى لها يزداد بمقدار 0.16V/100c° .

٤- يمكن تخفيض جهد الانهيار الأمامى إلى حوالى 1V ، وذلك باستخدام ثنائى زنير، حيث يوصل مصعد الزنير ببوابة المفتاح السليكونى SBS ويوصل مهبط الزنير بالمصعد A1 .

وعند تعريض البوابة لجهد سالب بالنسبة لجهد المصعد A_2 يمر تيار بوابة I_G فيعمل على خفض جهد الانهيار الفوقى للـ SBS إلى +1V بدلاً من +8V ، وتستخدم هذه الخاصية للتخلص من ظاهرة الرجوعية Hystresis والتى تحدث عند استخدام الدياك فى إشعال الترياك، وهذا سيتضح فيما بعد .

١ / ٨ الالكترونيات الضوئية :

إن جميع أشباه الموصلات تتفاعل مع الضوء لحد ما، مما دفع المصممين لتصميم بعض العناصر الالكترونية الضوئية لتعمل كحساسات للضوء أو باعثات للضوء، وسوف نتناول بعضها بشكل موجز فى هذه الفقرة :

١- الثنائى الباعث للضوء LED :

وهو يشبه لحد كبير لمبة صغيرة بألوان مختلفة وهو يستخدم للإشارة، وعادة لا

ينبعث الضوء من الثنائي الباعث للضوء حتى يصبح جهد الانحياز الأمامي أكبر من 2V، أما عند الانحياز العكسي فإن ثنائي LED لا يضيء.

وتعتمد شدة إضاءة LED على شدة التيار المار فيه، وتتراوح ما بين (5:25mA)، وهناك نوعان من الثنائيات الباعثة للضوء، الأولى باعثة للضوء المرئي وتسمى VLed، والثانية باعثة للضوء غير المرئي (أشعة تحت الحمراء)، وتسمى IRLED. كما يوجد عدة أنواع من الثنائيات حسب تيارها، فالأولى تسمى منخفضة القدرة (5mA)، والثانية قياسية وتيارها (10mA)، والثالثة عالية القدرة وتيارها (20mA).

٢- الترانزستور الضوئي Photo transistor:

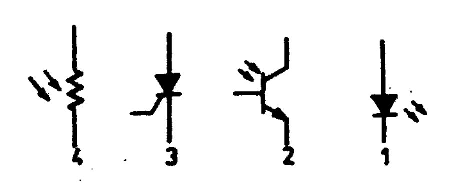
وهو يشبه الترانزستور العادى، فيما عدا أنه له سطح زجاجي يسمح بسقوط الشعاع الضوئي على وصلة الترانزستور، فإذا تعرض الترانزستور الضوئي للضوء فإن تيار المجمع سوف يزداد بزيادة شدة الشعاع الضوئي والعكس بالعكس.

٣- الثايرستور الضوئي Light Activated SCR (LASR):

وهو يشبه الثايرستور العادى فى عمله، عدا أنه يحتوى على سطح زجاجي يسمح بسقوط الشعاع الضوئي على وصلته، ويعمل (LASR) كعنصر إمساك، فبمجرد سقوط شعاع ضوئي عليه يحدث إشعال له، ولا يمكن إطفاؤه إلا بتقليل تيار المصعد عن تيار الإمساك له. ويمتاز الثايرستور الضوئي بقدرته على حمل تيارات عالية لا يقدر على حملها كل من الثنائي الضوئي والترانزستور الضوئي.

٤- المقاومة الضوئية LDR:

وهى تصنع من مواد شبه موصلة مثل سيليناديد الكادميوم، وتغطى بالسيراميك، وتوضع داخل غلاف زجاجي. وتتغير مقاومة LDR عند تعرضها لشعاع ضوئي، فتقل المقاومة من عدة ميجا أوم إلى عدة كيلو اوم. وفيما يلي رموز كل من

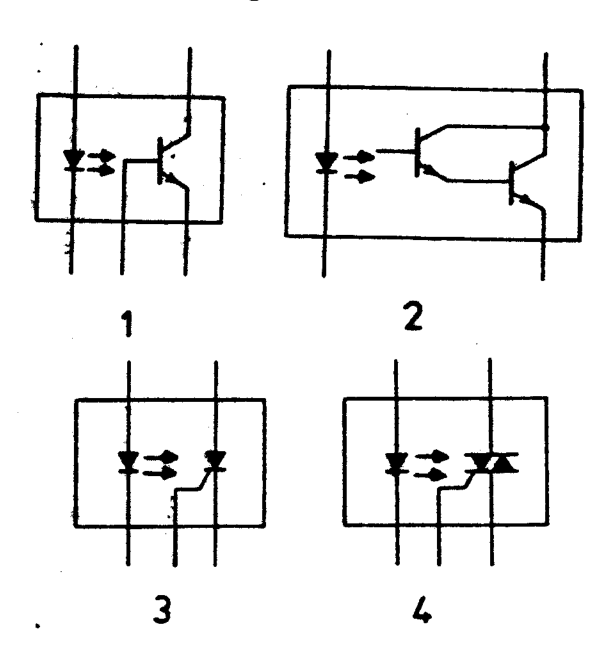


الثنائى المشع للضوء LED (الرمز 1) والترانزستور الضوئى (الرمز 2) والثايرستور الضوئى (الرمز 3) والمقاومة الضوئية (الرمز 4) .

١ / ٩ - عناصر الارتباط الضوئية العازلة photo Coupled Isolators :

تتكون عناصر الارتباط الضوئية العازلة من ثنائى باعث للضوء وعنصر إحساس ضوئى، مثل: المقاومة الضوئية أو الترانزستور الضوئى أو الثايرستور الضوئى أو الترياك الضوئى، وتستخدم عناصر الارتباط الضوئية العازلة فى عزل دوائر التحكم عن دوائر القدرة.

وفيما يلى رموز بعض عناصر الارتباط الضوئى العازلة:



فالرمز : 1 لوحدة ارتباط ضوئية بخرج ترانزستور ضوئى .

2 لوحدة ارتباط ضوئية بخرج ترانزستور دارلنجتون ضوئى .

3 لوحدة ارتباط ضوئية بخرج LASCR .

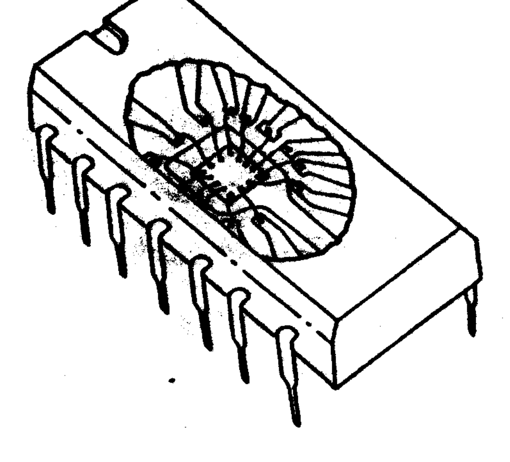
4 لوحدة ارتباط ضوئية بخرج ترياك ضوئى .

ويصل جهد عزل عناصر الارتباط الضوئية عدة كيلو ڤولتات، ويختلف تبعًا للتصميم، ويمكن معرفة جهد العزل من ورق البيانات.

١ / ١٠ - الدوائر المتكاملة الخطية والرقمية:

إن الدائرة المتكاملة هي عنصر الكتروني صغير، وهي تستخدم بدلاً من دائرة مطبوعة تحتوي على عناصر الكترونية متعددة، فهي تحل محل مجموعة من الثنائيات والترانزستورات والمكثفات والمقاومات... إلخ لأداء وظيفة معينة.

وهناك أشكال متعددة للدوائر المتكاملة أكثرها انتشاراً شريحة بصفين من الأرجل DIL كما بالشكل (١ - ٢٨).



الشكل (١ - ٢٨)

ويمكن تقسيم الدوائر المتكاملة إلى دوائر متكاملة خطية Linear ودوائر متكاملة رقمية DigitaL.

وسوف نتناول في هذه الفقرة بعض الدوائر المتكاملة التي سنستخدمها في هذا الكتاب مثل:

١ - المؤقت الزمني 555.

٢ - المذبذب الأحادي الاستقرار 74121.

٣ - دوائر متكاملة لإشعال الثايرستور والترياك عند العبور بالصفر طراز:

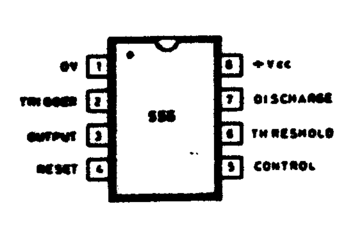
443 A - TDA 1024 - CA 3059.

٤ - الدائرة المتكاملة للتحكم في الطور طراز TDA 2086A.

٥ - دوائر متكاملة للمكبرات المؤازرة طراز NE 544 و NE 543.

١ / ١٠ / ١ - المؤقت 555:

الشكل (١ - ٢٩) يعرض المسقط الأفقي للدائرة المتكاملة طراز 555.



الشكل (١ - ٢٩)

التعريف بأرجل المؤقت 555:

الرجل 1: توصل بأرض المنبع.

الرجل 8: توصل بالجهد الموجب لمصدر

التيار المستمر V_{CC} + والذى يتراوح ما بين (+5: + 15 V).

الرجل 3 : خرج المؤقت 555. وله حالتان، منخفضة 0V وعالية وتساوى الجهد $+ V_{CC}$.

الرجل 2 : مدخل الإشعال.

الرجل 5 : مدخل جهد التحكم وإذا لم تستخدم توصل بالارضى من خلال مكثف سعته 0.01µF.

الرجل 6 : جهد العتبة Threshold Voltage.

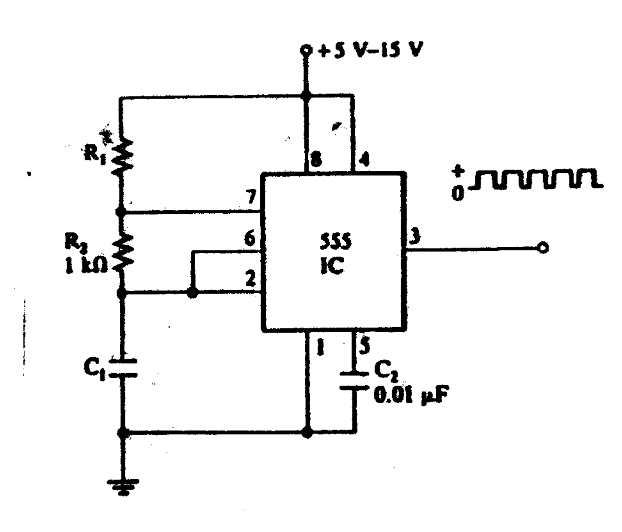
الرجل 7 : طرف التفريغ للمكثف.

الرجل 4 : مدخل التحرير وعادة توصل مع الجهد الموجب للمنبع $+V_{CC}$.

استخدامات الدائرة المتكاملة للمؤقت 555 :

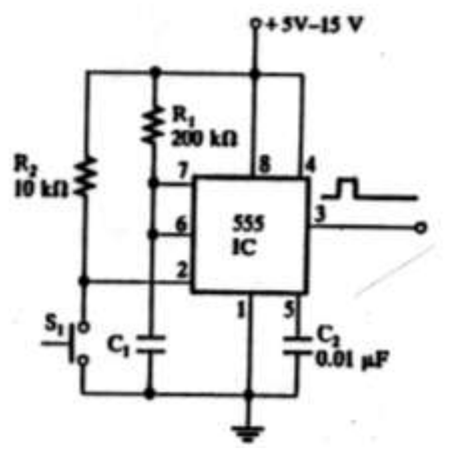
تستخدم دائرة المؤقت 555 كمذبذب لا مستقر كما بالشكل (١ - ٣٠)، ويكون تردد موجات الخرج المربعة مساوياً.

$$F = \frac{1.46}{C(R_1 + R_2)} \rightarrow 1.13$$



الشكل (١ - ٣٠)

ويستخدم المؤقت 555 كمذبذب أحادي الاستقرار لتوليد نبضة واحدة عند الضغط على الضاغط S كما بالشكل (١ - ٣١).



الشكل (١ - ٣١)

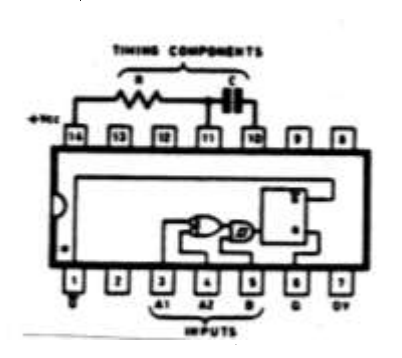
ويكون زمن النبضة مساوياً:

$$T = 1.1\, C_1 R_1 \rightarrow 1.14$$

علماً بأن المقاومة R_1 تتراوح ما بين (1K Ω : 3.3M Ω)، أما المكثف C_1 فتتراوح قيمته ما بين (470 µF: 470 pf)، ويتراوح زمن النبضة ما بين (1ms: 30 min).

١ / ١٠ / ٢ – الدائرة المتكاملة للمذبذب الأحادي الاستقرار طراز 74121:

تستخدم هذه الدائرة المتكاملة في بناء المذبذبات الأحادية الاستقرار، والشكل (١ - ٣٢) يبين طريقة توصيل مقاومة R ومكثف C مع الدائرة المتكاملة 74121 للحصول على مذبذب أحادي الاستقرار.



الشكل (١ - ٣٢)

وتحدد المداخل A_1, A_2, B طريقة الإشعال وهناك ثلاثة طرق مختلفة للإشعال:

١ – يوصل A_1, A_2 بجهد منخفض (Low) يساوي 0.2V وبالتالي يمكن إشعال المذبذب عند وصول نبضة صاعدة (أي تنتقل من جهد منخفض 0.2V + لجهد عال أكبر من +2.4V) إلى المدخل B.

٢ – يوصل A_1, B بجهد عال High أكبر من +2.4V وأصغر +5V وبالتالي يمكن إشعال المذبذب بوصول نبضة هابطة للمدخل A_2.

٣ – يوصل A_2 , B بجهد عال High، وبالتالي يمكن إشعال المذبذب بوصول نبضة منخفضة عند الحافة الهابطة (أي تنقل من جهد عال لجهد منخفض)

للمدخل A_1.

ونحصل على زمن النبضة الخارجة من العلاقة التالية:

$$T = 0.693\ R\ C \rightarrow 1.15$$

علمًا بأن قيمة R تتراوح ما بين (1.5: 40k Ω)

C تتراوح ما بين (10 PF : 10µF)

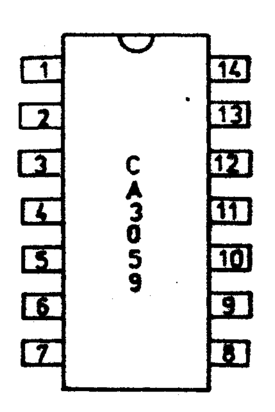
T تتراوح ما بين (30ns: 40s)

والجدير بالذكر أن هذه الدائرة المتكاملة يطلق عليها غير مجددة الإشعال NOT Retriggerable، أى لا يمكن تكبير زمن نبضة خرجها بإرسال نبضتى إشعال لدخلها، الزمن بينهما أقل من زمن نبضة الخرج. وتتميز هذه الدائرة المتكاملة بأن لها مخرجين معكوسين، فيمكن الحصول على نبضة عالية من المخرج Q ونبضة منخفضة من المخرج $\bar{Q}$.

١ / ١٠ / ٣ - الدوائر المتكاملة لإشعال الثايرستورات والترياكات عند العبور بالصفر ZCS:

أولا: الدائرة المتكاملة CA 3059:

الشكل (١ - ٣٣) يعرض المسقط الأفقى للدائر المتكاملة CA 3059، وتستخدم الدائرة المتكاملة CA 3059 للتحكم فى إشعال الترياك أو الثايرستور عند جهد 0V لموجة الجهد المتردد، وتعمل هذه الدائرة مباشرة من مصدر التيار المتردد، فعندما يكون الرجل 13 منحازة أماميًا عن الرجل 9 تصل نبضة إشعال للترياك من الرجل 4.



الشكل (١ - ٣٣)

التعريف بأرجل الدائرة المتكاملة:

1: مدخل منع الإشعال الخارجى.

2: مخرج مصدر قدرة مستمر داخلى جهده +6v.

3: مخرج نبضات الإشعال.

4: مخرج الدائرة المتكاملة ويوصل مباشرة ببوابة الترياك أو الثايرستور.

5: مدخل مصدر التيار المتردد.

6: إشعال خارجي.

7: أرضى oV.

10,11: يعطيان جهد 3V+ عند توصيلها معًا.

13, 9: جهد التحكم.

14: مدخل تحرير.

8: مدخل الرجوعية.

ملاحظات عند استخدام الدائرة المتكاملة CA3059 :

١ – توصل مقاومة قيمتها 22KΩ وقدرتها 5w بالرجل 5 عندما تكون قيمة الجهد المتردد 220V، وتعمل هذه المقاومة على تحديد التيار الداخل للرجل 5.

٢ – يوصل مكثف سعته 100 µF وجهده 16V بين الرجل 2 والرجل 7 ، ويعمل هذا المكثف على تخزين الشحنة الكافية لتشغيل جميع الدوائر الداخلية المكونة للدائرة المتكاملة ويكون فرق الجهد على طرفى المكثف يساوى 6V + .

٣ – عند توصيل الرجل 11 والرجل 10 معًا يكون خرجهما مساويًا 3V+، ويستخدم هذا الجهد لعمل انحياز لأحد أرجل التحكم 9 أو 13 .

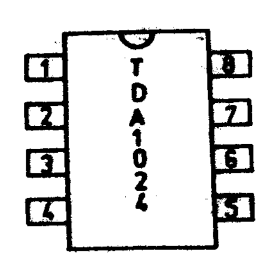
٤ – عندما يكون جهد رجل التحكم 13 أعلى من جهد رجل التحكم 9 تصل نبضات إشعال للترياك من الرجل 4 .

٥ – يمكن زيادة شدة تيار إشعال الترياك باستخدام الرجل 3 بدلاً من الرجل 4 مع استخدام ترانزستور خارجي لرفع مستوى التيار حيث إن شدة تيار الرجل 3 لا يتعدى عدة ملي امبيرات.

ثانيا : الدائرة المتكاملة TDA 1024 :

تستخدم هذه الدائرة المتكاملة لإشعال الترياكات عند زوايا إشعال مساوية الصفر، وذلك للتقليل من Radio Frequency Interference (RFI)، والتى تعمل علي إحداث تداخل مع الأجهزة الالكترونية القريبة .

والشكل (١ – ٣٤) يبين المسقط الأفقى لهذه الدائرة المتكاملة .



الشكل (١ – ٣٤)

التعريف بأرجل الدائرة المتكاملة :

1: الارضى .

2: خرج الدائرة المتكاملة ويوصل ببوابة الترياك .

3: التحكم فى الرجوعية .

4: مدخل جهد الأساس .

5: مدخل التحكم .

6: التزامن مع جهد المنبع ويوصل بجهد المصدر المتردد لكشف لحظة عبور الموجة بالصفر .

7: جهد المصدر المتردد .

8: تغذى الدائرة بجهد موجب مقداره 6. 5V وتيار يصل إلى 30mA .

وتقوم هذه الدائرة المتكاملة بمقارنة جهد التحكم عند الرجل 5 بجهد الأساس عند الرجل 4 وعندما يكون جهد التحكم أعلى من جهد الأساس تصلْ نبضة إشعال للترياك من الرجل 2 . ويمكن عمل رجوعية تتراوح ما بين 20mV: 300mV باختيار مقاومة مناسبة توصل بين الرجل 3 والرجل 1 .

وفيما يلى الكميات المختلفة لهذه الدائرة المتكاملة :

V_{CC} جهد المصدر (الرجل 7) يساوى 8 V .

V_{in} جهد الارجل 2, 3, 4, 5, 8 بالنسبة للرجل 1 ويساوى (8V) .

I_{CC} تيار المصدر (الرجل 4) كقيمة متوسطة 30mA وكقيمة عظمى 80mA .

Iout تيار الخرج المتوسط للرجل 2 يساوى 30mA وتيار الخرج

الاقصى للرجل 2 يساوى 100mA .

ثالثًا : الدائرة المتكاملة 443 :

صممت هذه الدائرة المتكاملة لتشغيل الترياك عند لحظة العبور بالصفر، وهذه الدائرة مناسبة للتحكم فى السخانات الكهربية .

والشكل (١ – ٣٥) يعرض المسقط الأفقى لهذه الدائرة المتكاملة .

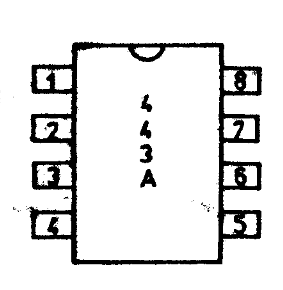
التعريف بأرجل الدائرة المتكاملة :

1: المشترك .

2: مصدر التيار المتردد .

3: مكثف تنعيم مصدر القدرة الداخلى .

4: خرج نبضات إشعال الترياك .



الشكل (١ – ٣٥)

5: مصدر جهد 7V + .

6: مكثف تأخير النبضات .

7: زمن نبضة واحدة من نبضات أسنان المنشار المتولدة داخليًا .

8: الرجل المنزلقة لمجزىء الجهد .

وتمتاز هذه الدائرة بأنها تحتاج لعدد قليل من العناصر الخارجية، كما أن نبضات الإشعال لا تصل لبوابة الترياك إلا بعد وصول مصدر القدرة المتردد لها، ويوجد تماثل فى لحظة الإشعال عند نصفى الدورة الموجب والسالب للتيار المتردد، علمًا بأن تيار خرج الرجل 4 يساوى 100mA . وتيار إمداد الرجل 2 يساوى ±50mA .

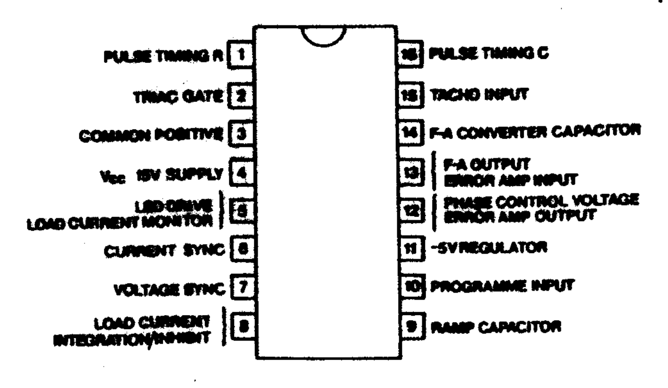
١ / ١٠ / ٤ – الدائرة المتكاملة TDA 2086A للتحكم فى الطور:

صممت هذه الدائرة حتى تستخدم فى أنظمة التحكم ذات الحلقة المفتوحة والمغلقة للتحكم من زوايا إشعال الثايرستورات أو الترياكات مع أحمال حثية أو مادية (محركات – سخانات) .

ويفضل استخدام هذه الدائرة المتكاملة فى التحكم فى المحركات العامة المستخدمة فى المثاقيب اليدوية وبعض محركات الآلات الأخرى .

والشكل (١ – ٣٦) يعرض مسقطا أفقيا لهذه الدائرة المتكاملة .

التعريف بأرجل الدائرة المتكاملة :



الشكل (١ – ٣٦)

1: مقاومة توقيت النبضة .

2: بوابة الترياك .

3: الموجب المشترك .

4: الجهد الموجب لمصدر التيار المستمر $+V_{CC}$ ويساوى 15V + .

5: تشغيل LED .

6: تيار التزامن.

7: جهد التزامن.

8: تيار الحمل.

9: مكثف لتوليد نبضات أسنان المنشار Ramp .

10: مدخل مبرمج .

11: منظم جهد 5V - .

12: جهد التحكم فى الطور (خرج مكبر الخطأ) .

13: خرج دائرة تحويل التردد لسعة F - A (دخل مكبر الخطأ) .

14: مكثف دائرة تحويل التردد لسعة F - A.

15: دخل مولد التاكو.

16: مكثف توقيت النبضة.

وفيما يلى أقصى قيم تشغيل لهذه الدائرة المتكاملة:

– جهد بوابة المترياك 4V.

– أقصى تيار متكرر عند الرجل 4 هو 80mA.

– أقصى تيار غير متكرر لزمن أصغر من 250 µS يساوى 200mA.

– أقصى تيار دخل عند الرجل 5 فى نصف الموجة الموجب 2mA.

– أقصى تيار دخل متكرر عند الرجل 5 فى نصف الموجة السالب 80mA.

– أقصى تيار دخل عند الرجل6 هو 1mA ±.

– أقصى تيار دخل عند الرجل 7 هو 1mA ±.

– جهد المنبع عند الرجل 8 يساوى جهد منظم الجهد.

– تيار منظم الجهد (الرجل 11) يساوى 10mA.

– جهد دخل مكبر التحكم (الرجل 13) يساوى جهد منظم الجهد.

– تيار الدخل من مولد التاكو للرجل 15 يساوى 20mA ±.

خواص هذه الدائرة المتكاملة:

١ – تعمل مباشرة من مصدر قدرة مباشر تيار متردد أو مستمر.

٢ – مزودة بمصدر جهد داخلى 5V + لتشغيل أجزائها الداخلية.

٣ – تستهلك تيار دخل منخفض.

٤ – تعطى نبضة إشعال سالبة للترياك.

٥ – مزودة بإمكانية تشغيل LED.

٦ – مزودة بدائرة داخلية لتحديد التيار الأقصى للحمل.

٧ – مزودة بمولد نبضات أسنان منشار Ramp .

١ / ١٠ / ٥ – الدوائر المتكاملة للمكبرات المؤازرة Servo Amplifiers :

أولا : الدائرة المتكاملة NE 543 - K :

الشكل (١ – ٣٧) يعرض المسقط الأفقى لهذه الدائرة المتكاملة .

التعريف بأرجل الدائرة المتكاملة :

1,9 المحرك المؤازر .

2,8 جهد المصدر الموجب .

3,7 موسع النبضة Pulse Streatch .

4 مدخل النبضة .

5,6 مكثف التوقيت .

10 الأرضى .

الشكل (١ – ٣٧)

خواص هذه الدائرة المتكاملة :

– تيار الحمل 450mA .

– القدرة المشتتة 830mW .

– جهد التشغيل 6V .

– لا تحتاج لترانزستورات قدرة خارجية .

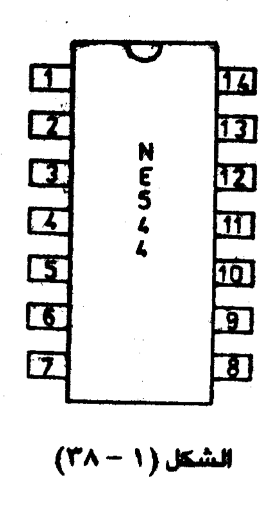
ثانيًا : الدائرة المتكاملة NE 544 :

الشكل (١ – ٣٨) يعرض المسقط الأفقى لهذه الدائرة المتكاملة .

التعريف بأرجل الدائرة المتكاملة :

1: مكثف التوقيت .

2: مقاومة التوقيت .



الشكل (١ – ٣٨)

3: خرج المنظم.

4: مدخل.

5: أرضى.

6: موسع نبضة Pulse Streatcher.

7: منطقة ميتة Dead band.

8: عتبة الإشعال.

9: الخرج (A) .

10: مشغل PNP (A) .

11: الجهد الموجب +V .

12: مشغل PNP (B).

13: الخرج B .

14: التغذية المرتدة عن الموضع Position .

خواص هذه الدائرة المتكاملة

– تيار الحمل 500 mA.

– يمكن تعديل المنطقة الميتة Dead band وكذلك عتبة الإشعال Trigger Threshold.

– خواصها خطية بخطأ 0.5%.

– لها مدى واسع من جهود التشغيل.

– يمكن تشغيل ترانزستور PNP خارجى لرفع مستوى تيار الخرج.

الباب الثاني

دوائر مكبرات العمليات

Operational Amplifiers

دوائر مكبرات العمليات Operational Amplifiers

٢ / ١ مقدمة:

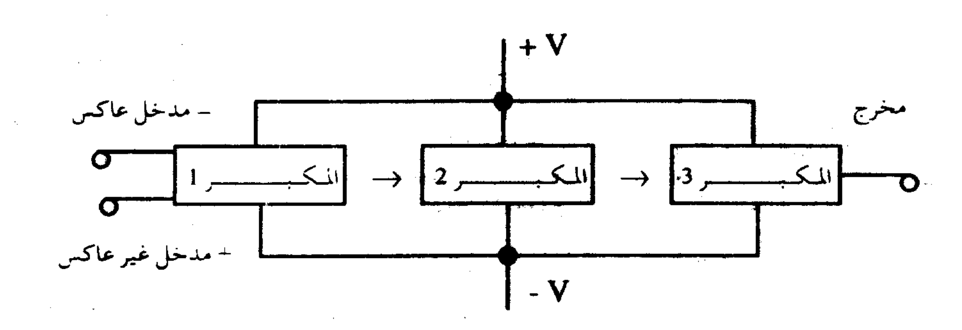
يعتبر مكبر العمليات عنصراً اساسياً فى بناء معظم دوائر التحكم الاسترجاعى، وهو يتكون من دوائر معقدة مجمعةفى دائرة متكاملة IC . ولمكبر العمليات قدرة كبيرة على تكبير إشارات المداخل المستمرة والمترددة . والجدير بالذكر أنه يمكن استخدام مكبر العمليات لأداء العديد من الوظائف باستخدام مجموعة قليلة من العناصر الخارجية .

والشكل (٢-١) يبين المخطط الصندوقى لمكبر العمليات، والذى يفهم من أن مكبر العمليات يتكون من ثلاثة مكبرات وهى :

١- مكبر تفاضلى له مقاومة دخل كبير (1) .

٢- مكبر جهد له معامل كسب عال (2) .

٣- مكبر بمقاومة خرج صغيرة (3) .



الشكل (٢-١)

ويلاحظ أن المكبر التفاضلى له مدخلان، **أحدهما** يأخذ إشارة سالبة ويسمى مدخلاً عاكساً Inverting، والآخر يأخذ اشارة موجبة ويسمى مدخل غير عاكس Non Inverting .

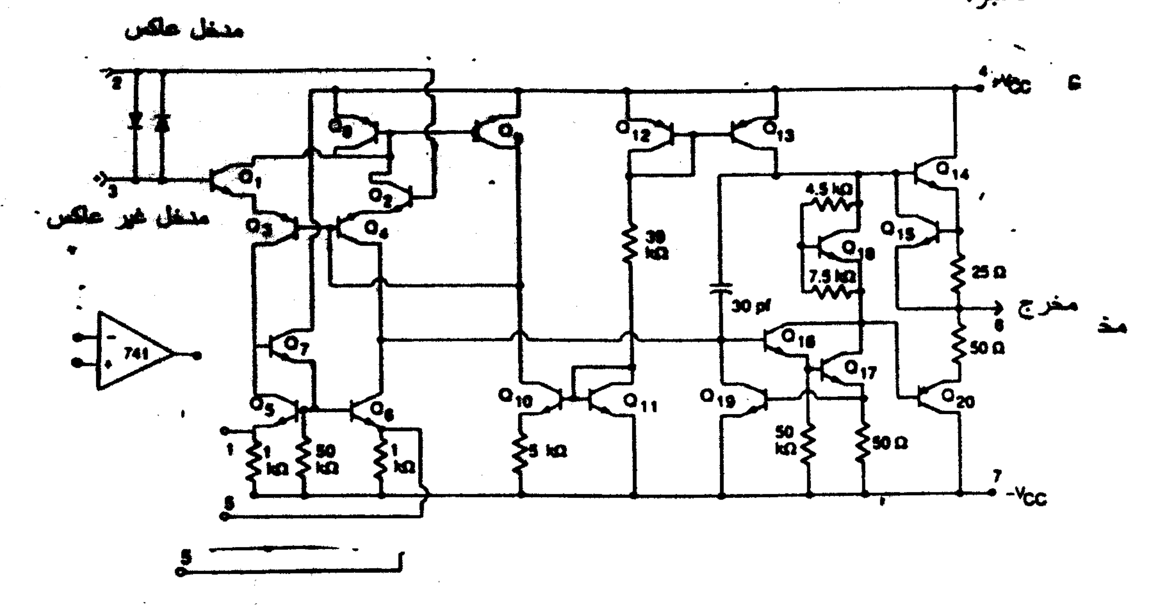
وفيما يلى أهم خصائص مكبر العمليات :

١- له مقاومة دخل كبيرة تؤدى إلى تقليل تيار الدخل ليقترب من الصفر. فمثلاً: يساوى 0.08 µA لمكبر العمليات طراز 741.

٢- معامل كسب الدائرة المفتوحة كبير جداً، فمثلاً يساوى 100000 للمكبر 741، لذلك فإن دخلاً صغيراً جداً من الجهد يمكن أن يكبر لخرج كبير.

٣- مقاومة خرج صغيرة تتأثر تأثراً صغيراً بدوائر الأحمال الأخرى.

والشكل (٢-٢) يعرض الدائرة الالكترونية لمكبر العمليات 741 وكذلك رمز المكبر.



الشكل (٢-٢)

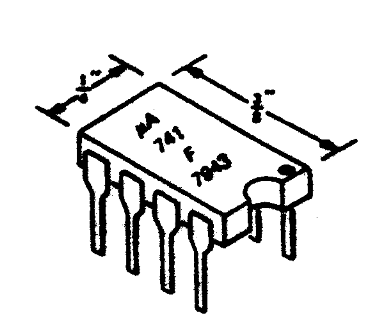
ولحسن الحظ أنه يمكن استخدام مكبر العمليات بدون الدخول فى تفاصيل عن تركيبه الداخلى لصعوبة ذلك، لذلك سوف نتعامل مع الأطراف الخارجية لمكبرات العمليات.

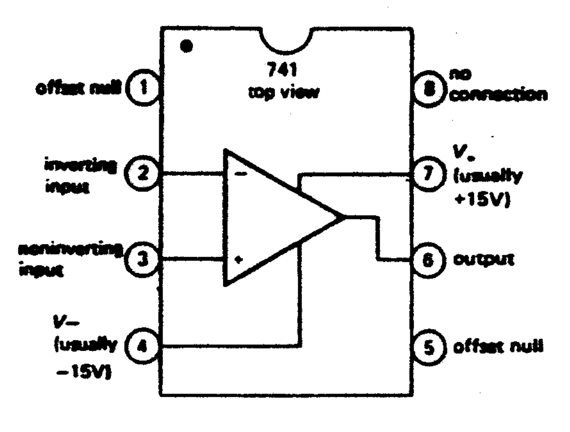
ويلاحظ من رمز مكبر العمليات أن مكبر العمليات له مدخلان، أحدهما عاكس (-) والآخر غير عاكس (+) ومخرج output.

والجدير بالذكر أن هناك أطرافًا أخرى لمكبر العمليات لا تظهر فى الرمز فى أغلب الأحيان، وسوف نتعرض لباقى هذه الأطراف فيما بعد.

والشكل (٢-٣) يعرض نموذجًا لمكبر العمليات 741 من نوع DIL (أى له أرجل فى صفين) وكذلك مسقط افقى يبين جميع المداخل والمخارج ووظيفة كلٍّ منها.

ويلاحظ وجود تجويف دائرى على أحد جانبى الدائرة المتكاملة، وحتى يمكن معرفة أرقام أرجل الدائرة المتكاملة تمسك الدائرة المتكاملة باليد، بحيث يكون التجويف فى اليسار، فتكون الرجل اليسرى هى الرجل رقم 1 ويكون العد فى عكس اتجاه عقارب الساعة.





الشكل (٢-٣)

التعريف بوظيفة أرجل الدائرة المتكاملة:

الرجل 1 : ضبط الخرج عند الصفر.

2 : المدخل العاكس.

3 المدخل غير العاكس.

4 : منبع الجهد السالب ويساوى -15V.

5 : ضبط الخرج عند الصفر.

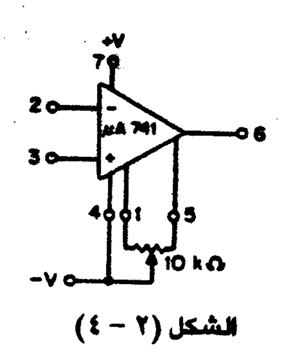
6 : الخرج ويؤخذ منه الإشارة المكبرة.

7 : منبع الجهد الموجب ويساوى +15V.

8 : غير مستخدم.

ويستخدم الطرفان 5,1 لضبط الخرج عند الصفر، حيث توصل بينهما مجزئ جهد 10kΩ ويوصل الطرف المنزلق للمجزئ بالطرف السالب للمنبع.

وعندما ترتفع درجة حرارة المكبر يتواجد خرج للمكبر حتى ولو لم يكن هناك دخل على الطرفين 2,3. وفى هذه الحالة يمكن بواسطة مجزئ الجهد الوصول لخرج مساو للصفر. والشكل (٢-٤) يوضح طريقة ضبط الخرج عند الصفر.



الشكل (٢ - ٤)

٢ / ٢ المصطلحات الفنية لمكبرات العمليات :

فيما يلى أهم المصطلحات الفنية المستخدمة مع مكبرات العمليات :

١ – جهد الدخل المعادل Input offset Voltage (V_{IO}) : وهو الجهد الواجب تطبيقه بين المدخلين لنحصل على جهد خرج صفرى ويساوى 1mv لمكبر العمليات μA741 .

٢ – تيار الدخل المعادل Input Offset Current (I_{OS}) : وهو الفرق بين تيارات المدخلين عندما يكون الخرج فى حالة جهد صفرى ويساوى 20nA لمكبر العمليات 741 .

٣ – تيار الدخل الانحيازى Input Bias Current (I_{IO}) : وهو متوسط تيارات المدخلين عندما يكون الخرج فى حالة جهد صفرى .

٤ – جهد الدخل التفاضلى Differential Input Voltage (V_{ID}) : وهو فرق الجهد الأقصى بين المدخلين العاكس والغير عاكس .

ه – كسب الجهد للدائرة المفتوحة Open Loop gain (A_V) : وهو النسبة بين جهد الخرج وجهد الدخل عندما تكون مقاومة الحمل 2kΩ .

٦ – مقاومة الدخل Input Resistance (R_I) : وهى المقاومة بين كل من المدخلين والأرضى .

٧ – مقاومة الخرج Output Resistance (R_O) : وهى المقاومة بين كل من الخرج والأرضى .

٨ – معدل الميلان Slew Rate (S_R) : ويساوى النسبة بين التغير فى جهد الخرج إلى زمن هذا التغير عندما تكون مقاومة الحمل R_L مساوية 2KΩ .

$$SR = \frac{\Delta V_O}{\Delta t}$$

وهو يساوى 0.5V/µS لمكبرات العمليات µA741 .

٩- النطاق العرضى للترددات Band Width (BW) : وهو حدود الترددات التى يعمل عندها المكبر باستقرار .

١٠- حاصل ضرب النطاق العرضى فى الكسب (GBW):

ونحصل عليه من المعادلة التالية: $GBW = A_V X BW$ وهو يساوى 1MHZ لمكبر العمليات µA 741 .

والجدول (٢-١) يعقد مقارنة بين الخواص الفنية لبعض مكبرات العمليات .

الجدول (٢-١)

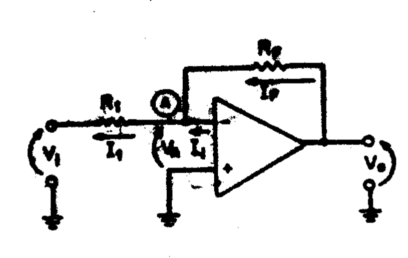
المتغير	709	201	301	741
تيار الدخل الانحيازى (nA) (I_{IO})	1500	1500	250	500
جهد الدخل المعادل (mV) (V_{IO})	7.5	7.5	7.5	6
تيار الدخل الانحيازى (nA) (I_{OS})	500	200	50	200
حاصل ضرب الكسب فى النطاق الترددى (GBW) (MHZ)	1	1	1	1
معامل الإمالة (SW) (V/µS)	3	2	2	0.5
مقاومة الدخل (R_I) (MΩ)	0.7	4.0	2.0	2.0

٢ / ٣ الدوائر الأساسية لمكبرات العمليات :

حيث إن معامل تكبير الدائرة المفتوحة Open Loop لمكبرات العمليات تكون كبيرة وتصل إلى 200000؛ ولذا فإن مكبرات العمليات عادة لا تستخدم فى دوائر مفتوحة ولكن تستخدم دوائر مغلقة Closed Loop، ولكى يكون المكبر فى حالة استقرار فإن هذا الغلق يتم بواسطة تغذية خلفية سالبة Negative feed back؛ لذلك يتم توصيل مقاومة بين الخرج والدخل السالب. وتوجد عدة تطبيقات لمكبرات العمليات سنتناولها فى الفقرات التالية:

٢ / ٣ / ١ المكبر العاكس Inverting Amplifier :

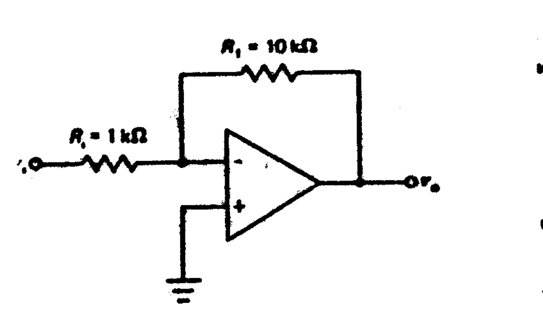
الشكل (٢-٥) يعرض دائرة مكبر عمليات يعمل كمكبر عاكس، وتسمى المقاومة RF بمقاومة التغذية الخلفية، أما المقاومة R_1 فهى مقاومة توالى توصل بين الطرف السالب للمكبر وإشارة الدخل المطلوب تكبيرها، ويكون معامل كسب الجهد (معامل التكبير) Av مساوياً :

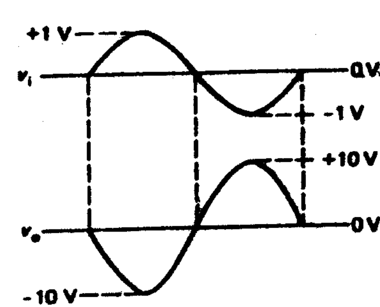


الشكل (٢-٥)

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = \frac{-R_F}{R_1} \rightarrow 2.2$$

ولمزيد من الإيضاح إليك المثال الموضح بالشكل (٢-٦)





الشكل (٢-٦)

فإذا كانت إشارة الدخل V_i عبارة عن موجة جيبية قيمتها العظمى +1V فإن إشارة الخرج V_O ستكون موجة جيبية أيضاً بإزاحة 180° وقيمتها العظمى 10V، حيث إن معامل كسب الدائرة يساوى:

$$A_V = \frac{-R_F}{R_1} = \frac{-10}{1} = -10$$

ويجب ملاحظة أن جهد الخرج من هذه الحالة لن يتعدى جهد منبع التغذية وهو ±15V مهما كانت قيمة جهد الدخل وقيمة معامل الكسب؛ لأن المكبر سوف يكون فى حالة تشبع.

ومن الناحية العملية فإن الطرف الموجب للمكبر لا يوصل مباشرة بالأرضى بل يوصل من خلال مقاومة R_P تساوى:

$$R_P = \frac{R_1 R_F}{R_1 + R_F} \rightarrow 2.3$$

وهذه المقاومة تعمل على ضبط اى حيود للخرج عن الصفر فى حالة ما إذا كان الدخل على طرفى المكبر مساوياً صفراً.

٢ / ٣ / ٢ المكبر غير العاكس Non Inverting Amplifier :

الشكل (٢-٧) يعرض دائرة مكبر العمليات الذى يعمل كمكبر غير عاكس.

ويلاحظ أن إشارة الدخل يسمح لها بالدخول على المدخل غير العاكس للمكبر +

وفيما يلى معادلة كسب الجهد للمكبر غير العاكس:

الشكل (٢ – ٧)

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1} \rightarrow 2.4$$

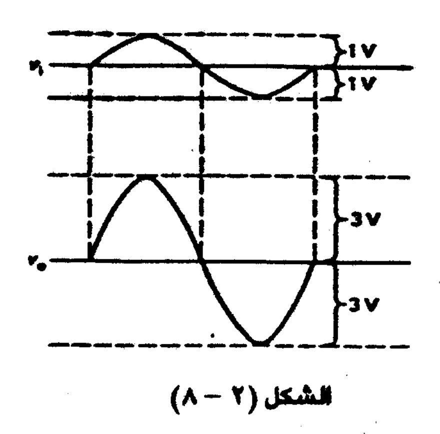
فإذا كانت $R_1 = 10K\Omega$ ، $Rf = 20K$ ودخلت موجة جيبية على المدخل العاكس وكانت القيمة العظمى $\pm 1V$ فإن القيمة العظمى لجهد الخرج v_O تساوى:

$$V_O = A_V V_i = (1 + \frac{R_F}{R_1})\, v_i$$

$$= \pm 1\,(1 + \frac{20}{10}) = \pm 3V$$

والشكل (٢-٨) يبين العلاقة بين v_i مع الزمن وكذلك V_O مع الزمن.

ويلاحظ أنه لا توجد إزاحة وجهية بين V_i, V_O.



الشكل (٢ – ٨)

٢ / ٣ / ٣ مكبر الوحدة Unity Follower:

هذا المكبر يعطى جهد خرج V_O مساوٍ تقريباً لجهد الدخل V_i فى القيمة وله نفس القطبيـة، لذلك سمى بمكبر الوحدة، وهو يستخدم عادة فى العزل. والشكل (٤-٩) يعرض دائرة مكبرة وحدة غير عاكس.

ويكون معامل الكسب مساويًا:

$$A_V = \frac{V_O}{V_i} = 1 \rightarrow 2.5$$

الشكل (٢-٩)

٢ / ٣ / ٤ المكبر الجامع العاكس The Summing op. Amp:

يعتبر المكبر الجامع هو أحد تطبيقات المكبر العاكس، ويجرى المكبر الجامع عملية جمع لجهود الدخل. والشكل (٢-١٠) يعرض دائرة جامع بثلاثة مداخل فقط. بالطبع يمكن زيادة عدد المداخل حسب الاستخدام لأى عدد من المداخل.

ونحصل على قيمة جهد الخرج لهذه الدائرة من العلاقة

$$Vo = -\left(\frac{R_F}{R_1} V_1 + \frac{R_F}{R_2} V_2 + \frac{R_F}{R_2} V_N\right) \rightarrow 2.6$$

فإذا كانت: $R_1 = R_2 = R_3 = R_F$

الشكل (٢ - ١٠)

تصبح: $V_O = -(V_1 + V_2 + V_3)$

فإذا كانت $R_1 = R_2 = R_3 = Rf = 10k\Omega$

وكان جهود المداخل كالآتى:

$$V_1 = 5V, V_2 = 6\ V, V_3 = 8\ V$$

فإن جهد الخرج سيساوى:

$$V_O = -(5 + 6 + 8) = -19V$$

إذا كان جهد المنبع مساوياً ±15V فإن المكبر سوف يتشبع، وبالتالى يصبح جهد الخرج مساوياً جهد التشبع أى Vsat-، حيث إن جهد التشبع فى هذه الحالة يساوى 13V- تقريباً.

٢/٣/٥ المكبر الفرقى The differential Amplifier :

فى التطبيقات السابقة لاحظنا ان الإشارة الداخلة على أحد طرفى الدخل لمكبر العمليات.

أما إذا سمح لإشارتى دخل الدخول معًا على مدخلى مكبر العمليات يسمى المكبر فى هذه الحالة بالمكبر الفرقى (الطارح)، وسمى بهذا الاسم نظراً لأنه يقوم بتكبير الفرق بين الدخلين، وفى الوضع المثالى لهذه الدوائر فإن الخرج يساوى صفراً عند تساوى جهد مدخلى الجهد، وتكون دائرة مكبر العمليات الفرقى كما هو موضح بالشكل (٢-١١).

وتكون قيمة جهد الخرج لدائرة المكبر الفرقى مساوياً:

$$Vo = \frac{R_F}{R_1}(V_2 - V_1) \rightarrow 2.7$$

وتقوم المقاومة R_F بضبط أى حيود للخرج عن الصفر فى حالة تساوى الجهدين V_1 ، V_2 أو مساوتهما بالصفر.

الشكل (٢-١١)

٢/٣/٦ مقارن الجهد Voltage Comparator :

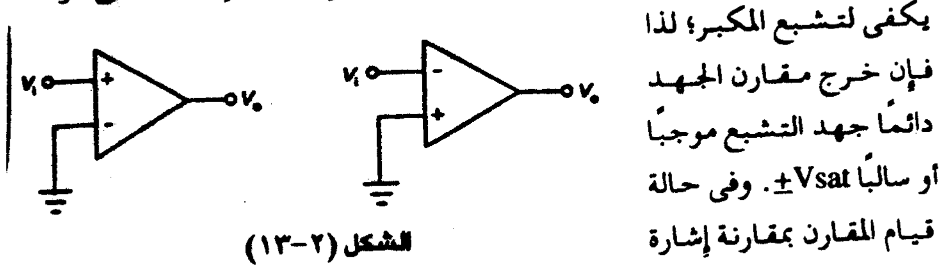
يستخدم مكبر العمليات كمقارن للجهد، بحيث يقارن الجهد على أحد المداخل مع جهد الأساس الموجود عند المدخل الآخر. وهناك نوعان من المقارنات: مقارن عاكس وآخر غير عاكس. والشكل (٢-١٢) يعرض مقارن جهد بسيط غير عاكس (أ) ومقارن عاكس (ب)، ويسمى المقارن بمقارن عاكس عند دخول إشارة الجهد على المدخل العاكس، فى حين يسمى بمقارن غير عاكس عند دخول إشارة

(ب) (أ)

الشكل (٢-١٢)

الجهد على المدخل غير عاكس.

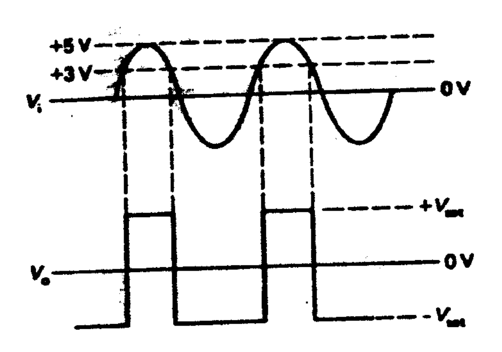
وحيث إن معامل الكسب (التكبير) لمكبر العمليات التى تعمل فى دائرة مفتوحة، كما هو الحال فى المقارن كبير جداً؛ لذا فإن جهد إشارة بالمللى فولت يكفى لتشبع المكبر؛ لذا فإن خرج مقارن الجهد دائمًا جهد التشبع موجبًا أو سالبًا ±Vsat. وفى حالة قيام المقارن بمقارنة إشارة



الشكل (٢-١٣)

جهد مع 0V فإنه يسمى بكاشف عبور الصفر Zero crossing Detector كما بالشكل (٢-١٣).

حيث تتغير حالة خرج المقارن عند عبور جهد الدخل بالصفر، فإذا افترضنا أن مقارنًا للجهد غير عاكس يقارن موجة جيبية جهدها الأقصى 5V بجهد أساسى مستمر يساوى 3V+ فإن شكل موجة الدخل وموجة الخرج المتوقع كما بالشكل (٢-١٤).



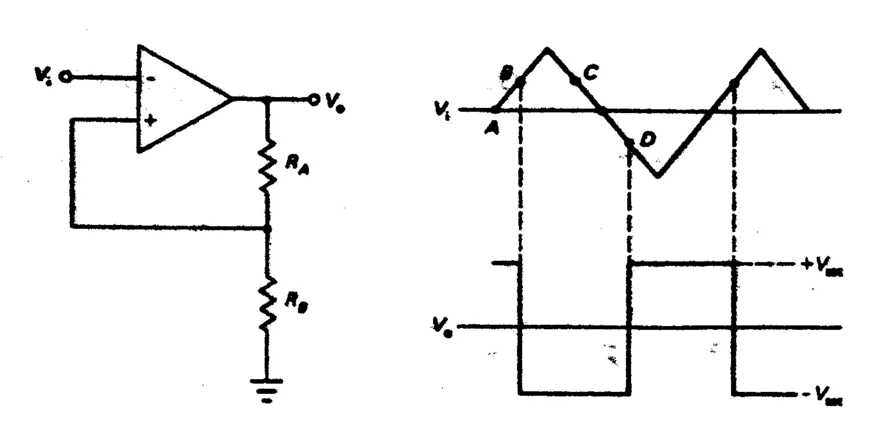
الشكل (٢-١٤)

ويلاحظ أنه عندما يكون جهد الدخل أكبر من 3V فإن خرج المقارن يكون مساويًا Vsat+. وعندما يكون جهد الدخل أصغر من 3V فإن خرج المقارن يكون مساويًا Vsat-. علمًا بأن Vsat تساوى 13V تقريبًا عندما يكون جهد المنبع مساويًا 15V.

والجدير بالذكر أن المقارن قد يتعرض لتأرجح فى خرجه نتيجة لوجود أى جهود صغيرة بفعل الضوضاء فى المداخل. ويجب تجنب ذلك بإضافة مقاومة تغذية عكسية موجبة (للدخل الموجب).

وهناك نوع آخر من المقارنات تسمى بمقارنات برجوعية، وتستخدم المقارنات ذات الرجوعية فى الحاكم ذى الموضعين Two position controller. والشكل (٢-١٥)

يعرض دائرة رجوعية لمقارن. وشكل الموجة V_O عندما تكون الموجة الداخلة V_i على شكل أسنان منشار. والمقصود بالرجوعية هو اعتماد خرج الدائرة على الحالة السابقة للدخل.



الشكل (٢-١٥)

فكما هو واضح ان خرج المقارن يكون مشبعًا موجبًا فى المنطقة بين النقطتين A,B تمامًا كالحالة السابقة للمقارن، فى حين يتحول خرج المقارن ليصبح مشبعًا سالبًا بعد النقطة B، ويظل الخرج مشبعًا سالبًا فى المنطقة C_D اعتمادًا على الحالة السابقة وهكذا.

ويمكن تعيين حدود الرجوعية من المعادلة التالية:

$$Vref = \frac{R_B}{R_A+R_B} (\pm Vsat) \rightarrow 2.8$$

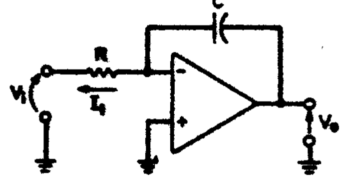
حيث إن:

جهد الأساس هو جهد النقطة B أو النقطة D   Vref

جهد التشبع لمكبر العمليات   Vsat

٢ / ٣ / ٧ المكبر المكامل Integrator:

تعرف عملية التكامل بأنها جمع قيم إشارة الدخل خلال فترة زمنية معينة. والشكل (٢-١٦) يعرض دائرة لمكامل، وهى تشبه دائرة



الشكل (٢ - ١٦)

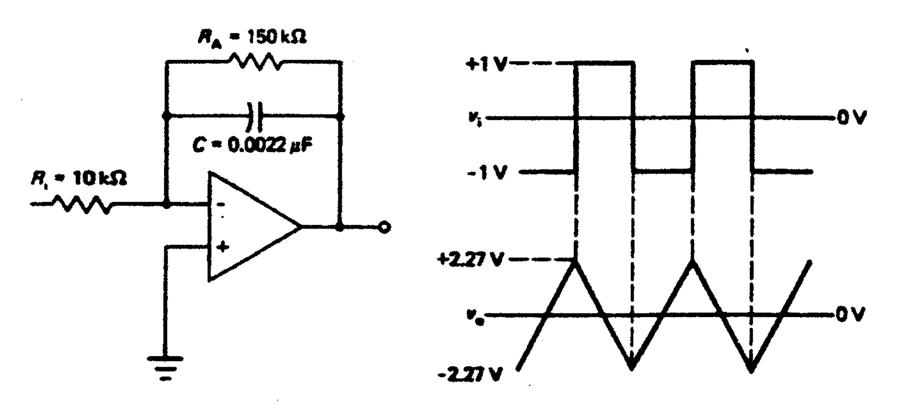
المكبر العاكس عدا أن مقاومة التغذية الخلفية R_F استبدلت بالمكثف C. والمعادلة التالية تعرف العملية التى تجريها هذه الدائرة.

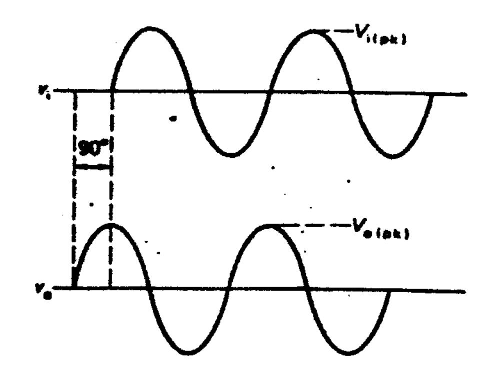
$$V_o = \frac{-1}{R_{c0}} \int^{t} V_i\, d_t \rightarrow 2.9$$

وعادة توصل مقاومة بالتوازى مع مكثف دائرة المكامل للأسباب التالية:

١- منع المكبر من تكامل الجهود المستمرة حتى ولو كانت صغيرة، والتى قد تؤدى لفقدان الدائرة لصفة التكامل.

٢- تحافظ على معامل كسب لا يقل عن $\frac{R_A}{R_1}$ عند الترددات القليلة، حيث إن R_A هى قيمة المقاومة الموصلة بالمكثف على التوازى، أما R_1 فهى مقاومة الدخل.





الشكل (٢-١٧)

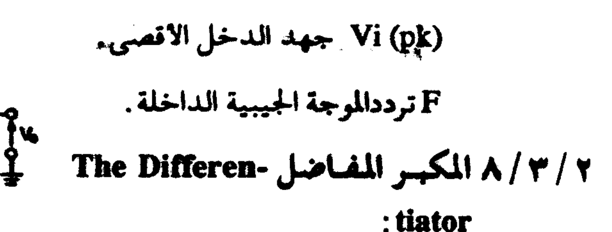
والشكل (٢-١٧) يبين دائرة مكامل عملي وشكل الموجة الداخلة والخارجة في حالتين، عندما تكون الموجة الداخلة مربعة وعندما تكون الموجة الداخلة جيبية.

ويلاحظ أن الموجة المربعة عند تكاملها تتحول لموجة مثلثة، أما الموجة الجيبية عند تكاملها تكون جيبية ولكن بإزاحة °90 جهة اليسار.

علماً بأن جهد الخرج الأقصى للمكامل عندما يكون دخله موجة جيبية يساوى:

$$V_o\,(pk) = \frac{V_i\,(pk)}{2\,\pi\,FRic} \rightarrow 2.10$$

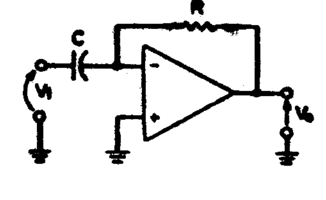
حيث إن:



Vo (pk) جهد الخرج الأقصى.

Vi (pk) جهد الدخل الأقصى.

F ترددالموجة الجيبية الداخلة.



٢ / ٣ / ٨ المكبر المفاضل The Differen-tiator:

الشكل (٢-١٨) يعرض دائرة مفاضل للموجة الداخلة، وهى تشبه دائرة المكامل مع تبديل أوضاع المكثف والمقاومة.

الشكل (٢ – ١٨)

والمعادلة التالية تعرف العملية التى تجريها هذه الدائرة:

$$V_o = -\,RC\frac{dvi}{dt} \rightarrow 2.11$$

وعادة توصل مقاومة R_S عل التوالى مع المكثف C للمحافظة على الكسب في الترددات العالية مساوياً $\frac{-R}{R_S}$.

والشكل (٤-١٩) يبين دائرة مفاضل عملية وشكل الموجة الداخلة والخارجة في حالتين، عندما تكون الموجة الداخلة جيبية وعندما تكون الموجة الداخلة مربعة.

ويلاحظ أن الموجة الجيبية عند تفاضلها تكون جيبية ولكن بإزاحة °90 جهة اليمين.

علماً بان جهد الخرج الأقصى للمفاضل عندما يكون دخله موجة جيبية يساوى

$$V_o\,(pt) = 2\,\pi\,F\,R_F CVi\,(pk) \rightarrow 2.12$$

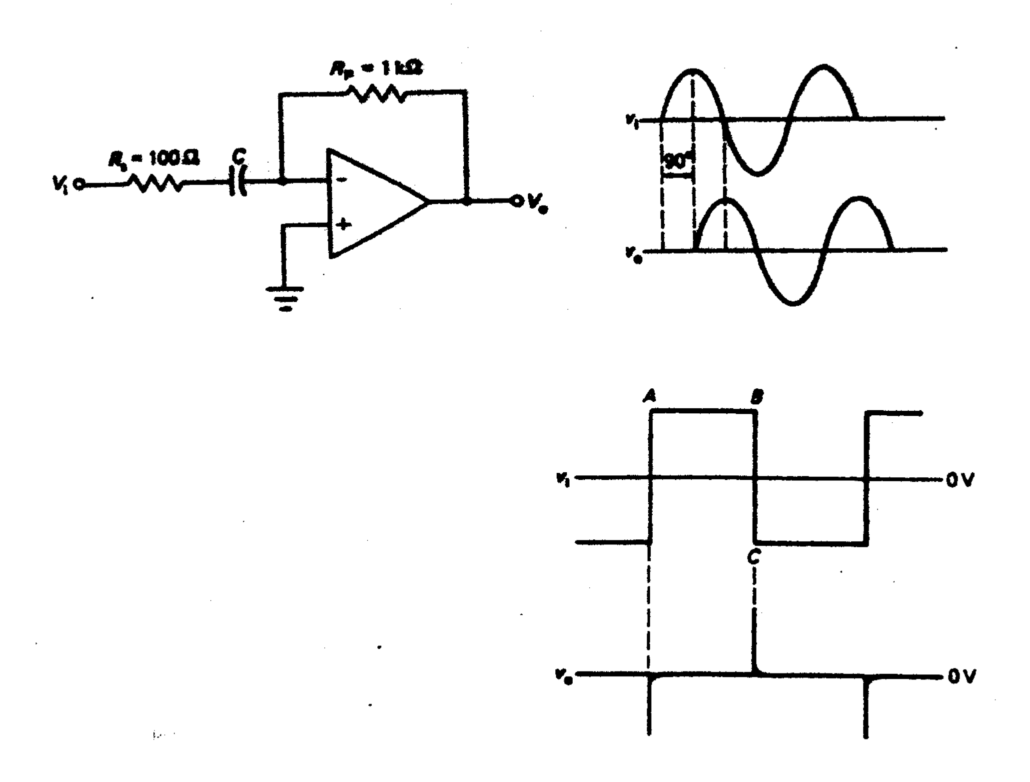
حيث إن :

Vo (pk) جهد الخرج الأفقى .

Vi (pt) جهد الدخل الأفقى .

F تردد الموجة الجيبية الداخلة .

فى حين أن الموجة المربعة عند تفاضلها تتحول لنبضات موجبة ونبضات سالبة .

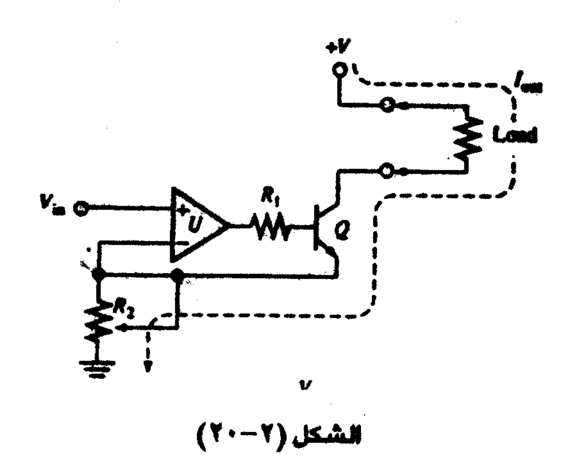


الشكل (٢-١٩)

٢ / ٣ / ٩ محول الجهد التيار :

من المعلوم أن مكبرات العمليات هى مكبرات جهد . وأكثر هذه المكبرات يكون لها خرج تيار محدد . وحيث إن هناك الكثير من عناصر الفعل Actuators يتم التحكم فيها بالتحكم فى شدة تيار دخلها، على سبيل المثال : الصمامات ذات المحرك Motor Valves . الأمر الذى جعلنا نحتاج لطريقة مناسبة لتحويل الجهد لتيار .

والشكل (٢-٢٠) يبين دائرة محول جهد لتيار باستخدام مكبر عمليات.



الشكل (٢-٢٠)

وهذه الدائرة تعطى تيار خرج يتناسب مع جهد الدخل، وعندما التدقيق فى هذه الدائرة نجد أنها دائرة مكبر عاكس، حيث يتحكم جهد الخرج فى الترانزستور Q. فكلما زاد جهد الخرج ازداد تيار مجمع الترانزستور Q.

ويصل المكبر لحالة الاتزان عندما يكون الجهد الواقع على الرجل العاكسة يساوى جهد الدخل على الرجل غير العاكسة، أى عندما يكون:

$$Vin = Iout\ R_2$$

وبالتالى نحصل على قيمة تيار الخرج من المعادلة التالية:

$$Iout = \frac{Vin}{R_2} \rightarrow 2.13$$

ويمكن التحكم فى شدة تيار الخرج المقابل لجهد الدخل بالتحكم فى قيمة المقاومة R_2، ويجب اختيار R_1 بحيث تكون كافية لتحديد تيار قاعدة الترانزستور.

والجدير بالذكر أن الترانزستور Q يعمل على زيادة مستوى تيار خرج المكبر؛ ولذلك يختار بحيث يكون قادراً على حمل التيار المطلوب.

كما أنه يجب أن يكون الجهد +V كافيًا لإمرار التيار المطلوب فى الحمل، فإذا كانت مقاومة الحمل 50 kΩ، وكان التيار المطلوب هو 2mA فإن الجهد +V يجب أن يكون أكبر من 100V.

الباب الثالث

دوائر مصادر القدرة المنتظمة وغير المنتظمة

دوائر مصادر القدرة المنظمة وغير المنتظمة

٣ / ١ دوائر مصادر القدرة الأساسية غير المنتظمة :

إن أكثر الأجهزة الالكترونية تستخدم مصادر قدرة تقليدية والتي تتكون من :

١- محول خفض يقوم بخفض جهد مصدر التيار المتردد للجهد المطلوب . كما أنه يقوم بعزل مصدر التيار المستمر عن مصدر التيار المتغير.

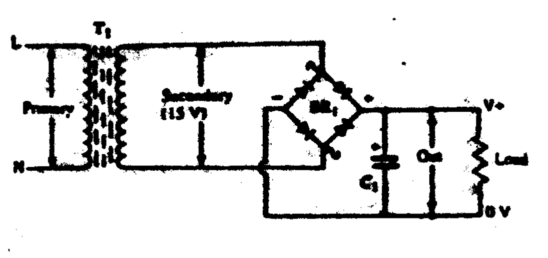
٢- وحدة التوحيد والترشيح، وتقوم بتحويل الجهد المتردد على الجانب الثانوى للمحول لجهد مستمر ناعم (بدون ذبذبات) .

والشكل (٣-١) يعرض نموذجًا للدائرة التي يكثر استخدامها كمصدر قدرة غير منتظم. وفيما يلى العلاقة بين جهد الخرج المستمر وجهد الملف الثانوى المتردد للمحول :

$$V_O = 1.41\ V_S \rightarrow 3.1$$

حيث إن :

جهد الخرج المستمر على أطراف الحمل V_O، جهد الملف الثانوى المتردد V_S .

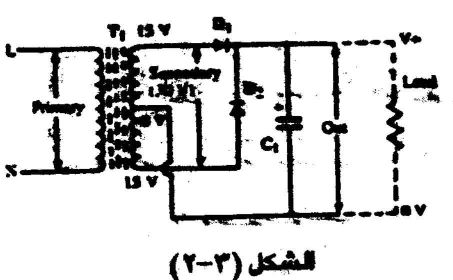


الشكل (٣-١)

والشكل (٣-٢) يعرض نموذجًا آخر لدائرة مصدر قدرة مستمر وغير منتظم باستخدام محول بنقطة تفرع فى المنتصف فى ملفه الثانوى.

وفيما يلى العلاقة بين جهد الخرج المستمر V_O وجهد الملف الثانوى المتردد للمحول V_S :

$$V_O = 0.71\ V_S \rightarrow 3.2$$



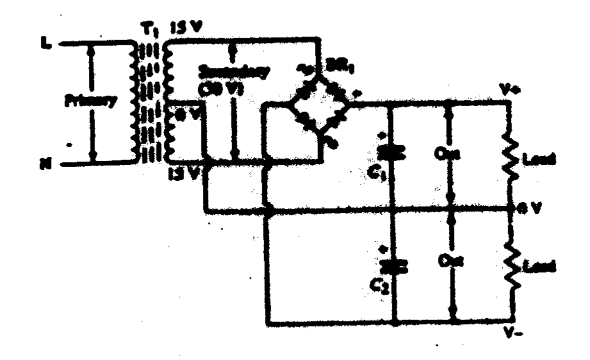
الشكل (٣-٢)

والشكل (٣-٣) يعرض نموذجًا لدائرة مصدر قدرة مستمر غير منتظم ومزدوج أى يعطى جهداً موجبًا +V

وجهد سالب -V فى آن واحد.

حيث إن:

$$V_O = 0.71\ V_S \rightarrow 3.3$$



الشكل (٣-٣)

٣ / ٢ منظمات الجهد المتكاملة ذات الأطراف الثلاثة:

3. Terminal Regulators

تنقسم منظمات الجهد المتكاملة ذات الأطراف الثلاثة إلى:

١- منظمات لها خرج ثابت Fixed voltage Regulators

٢- منظمات لها خرج قابل المعايرة Variable Voltage Regulators

وتتميز منظمات الجهد المتكاملة باحتوائها على نظام داخلى يعمل على قطع جهد الخرج عند تعدى تيار الحمل لهذه المنظمات القيمة العظمى المسموح بها، وأيضًا عند ارتفاع درجة حرارتها.

٣ / ٢ / ١ المنظمات ذات الخرج الثابت:

تنقسم هذه المنظمات إلى عائلتين وهما:

أ- منظمات الجهد الموجبة طراز ...78

ب- منظمات الجهد السالبة طراز ...79

علمًا بان هذه المنظمات تتواجد بقيم مختلفة لجهد وتيار الخرج، ويمكن معرفة الجهد المقنن والتيار الاقصى لمنظم الجهد الثلاثى الاطراف من الامتداد.

فالتيار الاقصى يشار إليه بالجزء الأول من الامتداد.

حيث إن:

L = 100 mA

1A = بدون

S = 2 A

بينما الجهد المقنن يشار إليه بالجزئين التاليين من الامتداد وأهم الجهود المقننة القياسية هي (5,6,9,12,15,24V) .

على سبيل المثال : 7805 هو منظم جهد ثلاثي ثابت الخرج يعطي جهد خرج +5V وتياراً اقصى 1A، في حين الدائرة المتكاملة 79L15 هي منظم جهد ثلاثي ثابت الخرج يعطي جهداً مقنناً 15V– وتياراً اقصى 100 mA وهكذا .

وعادة فإن جهد دخل المنظم نحصل عليه من المعادلة :

$$V_o + 3 \leq V_i \leq V_o + 6$$

حيث إن :

جهد الخرج للمنظم V_O

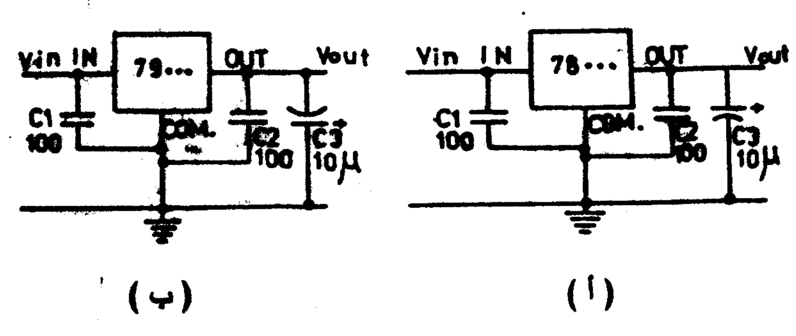
جهد الدخل للمنظم V_i

والجدول (٣-١) يعرض خواص منظمات الجهد الثابتة .

الجدول (٣-١)

الطراز	حدود الدخل	تنظيم الخط	تنظيم الحمل	معامل طرد الذبذبات
MC 7805 CT	7.2: 35v	7mv 7v≤vi≤25v	40mv 5mA≤Io≤1.5A	68dB 8 ≤ vi ≤ 18v
MC 7812 CT	14.5v: 35v	13mv 14.5v≤vi≤30v	46mv 5mA≤Io≤1.5A	
MC 78. CT	17.6v:35v	13mv 27v≤vi≤38v	52mv 5mA≤Io≤1.5A	56dB 18.5v≤Vi ≤28.5v
MC 7905 CT	-7.2v:-35v	35 mv -7v≥vi≥-25	11mv 5mA≤Io≤1.5A	70dB Io = 20mA
MC 7912 CT	-14.5v:-35v	55mv -14.5≥vi≥-30v	46mv 5mA≤Io≤1.5A	61dB Io = 20mA
MC 7915 CT	-17.6v:-35v	57mv -17.5≥vi≥-30v	68mv 5mA≤Io≤1.5A	60dB Io= 20mA

والشكل (٣-٤) يعرض دائرتين اساسيتين للمنظمات الثلاثية الأرجل الثابتة الجهد، الأولى (أ) صممت للحصول على جهد خرج موجب؛ والثانية (ب) صممت للحصول على جهد خرج سالب.



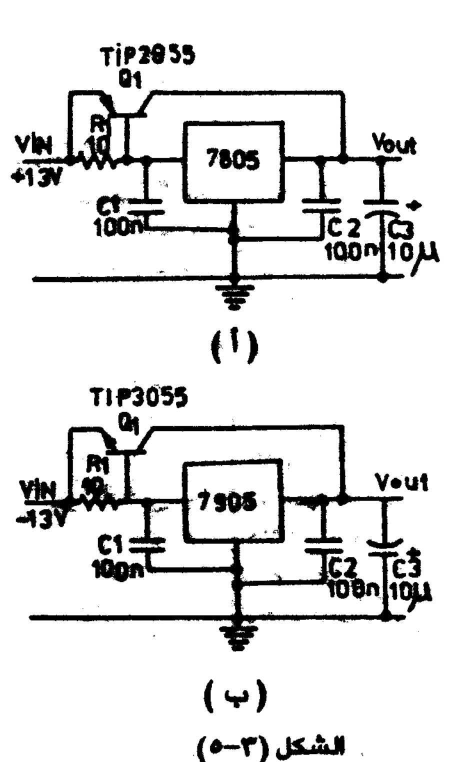
الشكل (٣-٤)

والشكل (٣-٥) يعرض دائرتين مختلفتين لزيادة تيار المنظمات الثابتة الجهد الثلاثية الأرجل، فالشكل أ يعرض دائرة منظم يعطى تيار خرج 5A وجهد خرج موجب، والشكل ب يعرض دائرة منظم يعطى تيار خرج 5A وجهد خرج سالب.

وعادة يتم توصيل مكثفات على التوازى مع مداخل ومخارج المنظمات الثلاثية الأرجل لتجنب عدم الاتزان عند الترددات العالية.

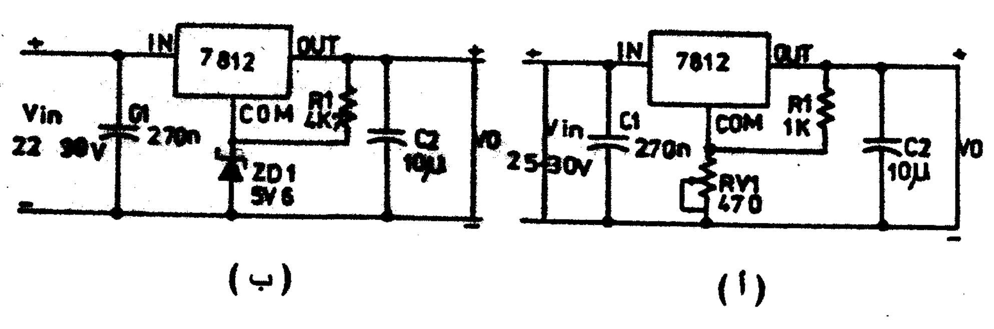
علماً بأن جهد الدخل غير المنظم يجب أن يكون فى الحدود الموصى بها من قبل الشركة والمبينة فى الجدول (٣-١).

كما أنه يجب تثبيت هذه المنظمات على مشتتات حرارة Heat sinks باحجام تعتمد على توصيات الشركات المصنعة.



الشكل (٣-٥)

والشكل (٣-٦) يوضح طرق زيادة جهد الخرج للمنظمات الثلاثية الأرجل ذات الخرج الثابت.



الشكل (٣-٦)

ففى الشكل أ فإن جهد خرج المنظم يعتمد على قيمة المقاومة المتغيرة RV_1 ويساوى12v عندما تكون قيمة المقاومة RV_1 مساوية الصفر، فى حين يساوى 20V عندما تكون قيمة RV_1 مساوية 470Ω.

أما الشكل ب فإن جهد خرج المنظم يساوى 17.6v بدلاً من 12v؛ وذلك لأن جهد الخرج يساوى جهد الخرج المعتاد للدائرة المتكاملة 7812 مضافًا إليه جهد الانحياز العكسى لثنائى الزينر ZD_1، أى أن:

$$Vo = 12 + 5.6 = 17.6V$$

٣ / ٢ / ٢ المنظمات ذات الخرج القابل للمعايرة:

الجدول (٣-٢) يبين المواصفات الفنية لأهم الدوائر المتكاملة للمنظمات ذات الخرج القابل للمعايرة

الجدول (٣-٢)

المواصفة الفنية / الطراز	LM338K	LM317T	LM317K	LM317MP	LM317LZ
اقصى تيار خرج	+5A	+1.5 A	+15A	+500mA	+100mA
جهد الخرج	1.2:32v	1.2:37v	(1.2:37v)	(1.2:37v)	(1.2:37v)
حدود جهد الدخل	4:35V	(4:40v)	(4:40v)	(4:40v)	(4:40v)

ولهذه المنظمات ثلاثة أرجل، وهى رجل الدخل Input ورجل الخرج Output ورجل الضبط Adjust .

وتتميز منظمات الجهد الثلاثية الأرجل ذات الخرج القابل للمعايرة بأن فرق الجهد بين رجل الخرج ورجل الضبط يساوى 1.25v .

والشكل (٣-٧أ) يوضح طريقة توصيل منظمات الجهد ذات الخرج القابل للمعايرة 338k,317k، ويمكن تعيين جهد الخرج من المعادلة التالية:

$$Vout = 1.25\left(1 + \frac{RV_1}{R_1}\right) \rightarrow 3.4$$

أى أن :

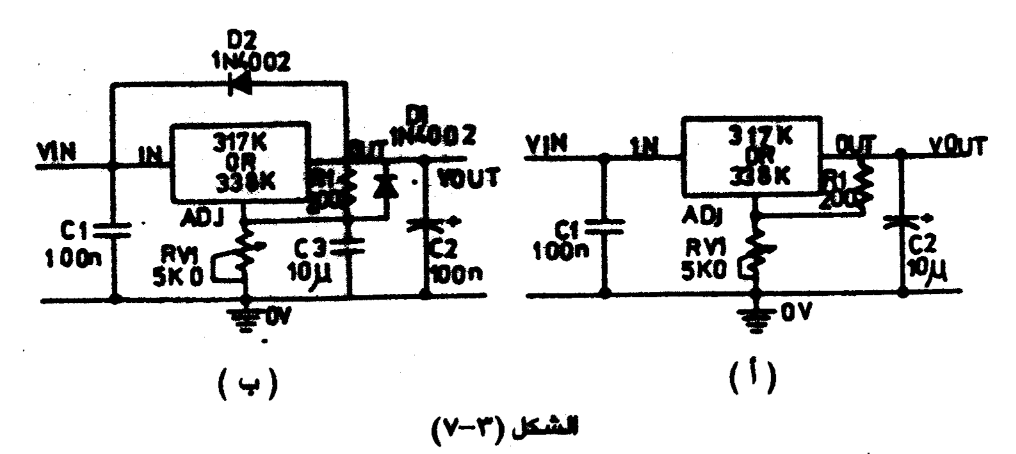
$$Vout = 1.25\left(1 + 0:\frac{5000}{200}\right)$$

$$= (1.25:32.5v)$$

ويمكن الحصول على قيم أخرى لجهد الخرج بتغيير قيم المقاومات R_1،RV_1، بحيث لا تزيد R_1 عن (355Ω).

والشكل (٣-٧ب) يوضح طريقة توصيل منظمات الجهد ذات الخرج القابل للمعايرة 318k, 317k مع حماية كاملة للمنظم من القصر عند المدخل والقصر عند المخرج. فعندما يحدث قصر عند المدخل فإن المكثف C_2 سوف يفرغ شحنته فى مخرج المنظم، وهذا قد يسبب انحيازاً منظماً، لذلك يوضع الثنائى D_2 لعمل مسار بديل لمرور شحنة المكثف C_2 خلاله ، ويجب أن يكون D_2 قادراً على تحمل تيار يصل إلى 15A وهو تيار القصر.

وبالمثل فإن الثنائى D_1 يمرر شحنة المكثف C_3 عند حدوث قصر فى دخل أو خرج المنظم، وبالتالى يمنع تفريغ المكثف C_3 فى المنظم.



الشكل (٣-٧)

٣/٣ الدوائر العملية لمصادر القدرة المنتظمة:

الدائرة رقم 1 :

الشكل (٣-٨) يعرض دائرة مصدر قدرة منتظم له جهد خرج 5V+، والحد الأقصى لتيار الخرج يساوى 1Aباستخدام منظم الجهد الثلاثى الأطراف 7805.

عناصر الدائرة:

C_1 مكثف كيميائى سعته 2200μf ويعمل عند جهد 25V.

C_2,C_3 مكثف سيراميك سعته 100nf.

C_4 مكثف كيميائى سعته 10 μf وجهده 10V.

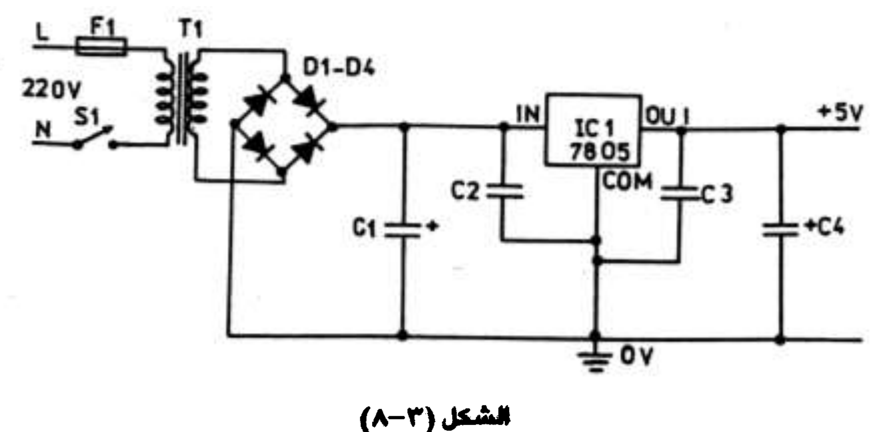
IC_1 دائرة متكاملة لمنظم جهد ثلاثى الأرجل طراز 7805.

T_1 محول خفض من 220/6V وسعته 10VA.

D_1-D_4 اربع ثنائيات سليكونية طراز 1N4002.

F_1 مصهر يعمل عند تيار 500 mA.

S_1 مفتاح قطب واحد سكة واحدة SPST.



الشكل (٣-٨)

الدائرة رقم 2 :

الشكل (٣-٩) يعرض دائرة مصدر قدرة منتظم ومزدوج يعطى الجهود +12V، 0V،-12V، والحد الأقصى لتيار الخرج يساوى 1A مستخدماً محول له ملف ثانوى بنقطة تفرع.

عناصر الدائرة :

C_1,C_5 مكثفات كيميائية سعتها 2200 µF تعمل عند جهد 25V.

C_2,C_3,C_6,C_7 مكثفات بوليستر سعتها 100nF .

C_4,C_8 مكثفات كيميائية سعتها 10µF وتعمل عند جهد 16V .

IC_1 دائرة متكاملة لمنظم جهد له خرج موجب +12V طراز 7812 .

IC_2 دائرة متكاملة لمنظم جهد له خرج سالب -12V طراز 7912 .

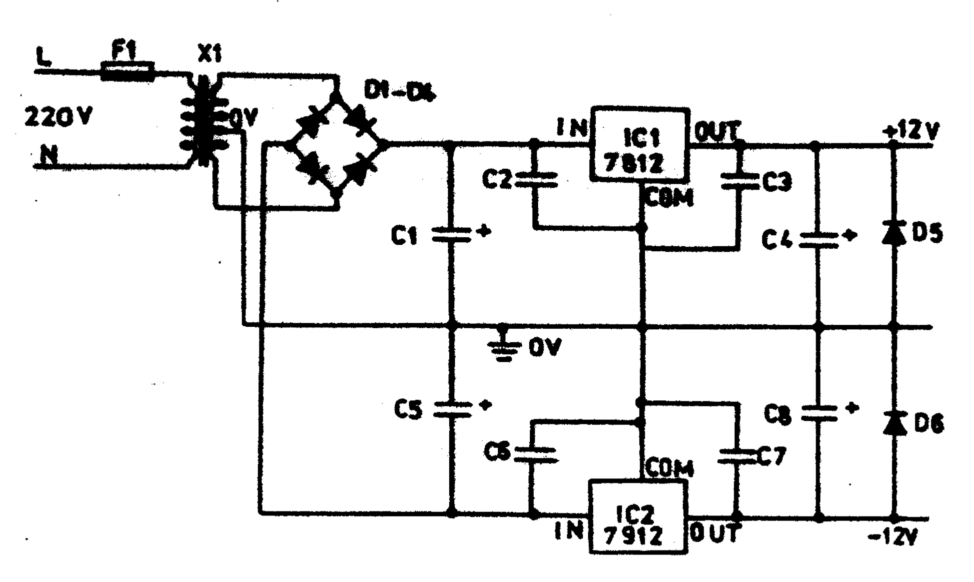
D_1-D_4 اربعة ثنائيات سليكونية طراز 1N4002 .

T_1 محول خفض جهد من 220V/24V له نقطة منتصف فى الملف الثانوى وسعته 24VA.

D_5,D_6 ثنائيات سليكونية طراز 1N4001.

F_1 مصهر حماية يعمل عند 500mA.

والجدير بالذكر أن الثنائى D_1 يعمل على حماية المنظم 7812 عند حدوث قصر على مخرجه، فى حين يعمل D_2 على حماية المنظم 7912 عند حدوث قصر على مخرجه.



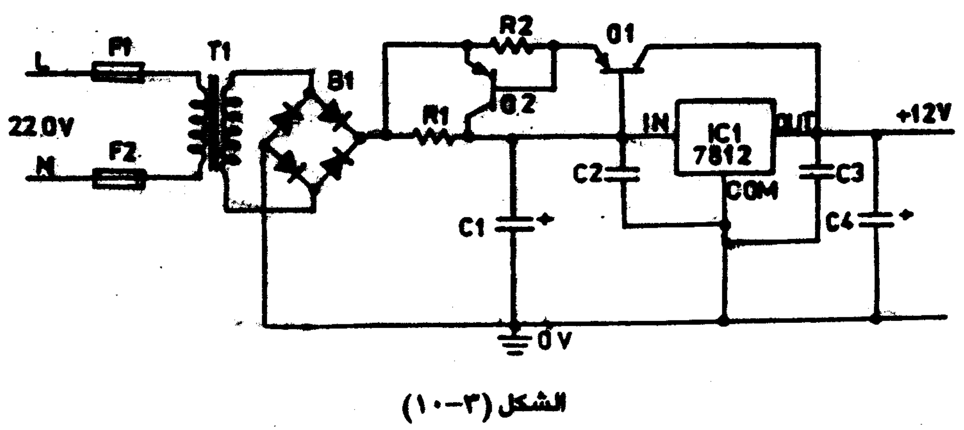
الشكل (٣-٩)

الدئرة رقم 3:

الشكل (٣-١٠) يعرض دائرة مصدر قدرة يعطى جهد خرج منظم يساوى +12V وتيار يصل إلى 5A، مع وجود حماية ضد زيادة تيار الحمل عن 5A.

عناصر الدائرة:

- IC_1 منظم جهد ثلاثى الأرجل طراز 7812.
- Q_1 ترانزستور PNP طراز MJE2955.
- Q_2 ترانزستور PNP طراز TIP32A.
- F_1,F_2 مصهرات حماية تعمل عند 500 mA.
- T_1 محول خفض 220V/18V سعته 100VA.
- B1 قنطرة سليكونية مربعة طراز BR6.
- C_1 مكثف كيميائى سعته 1000µF وجهده 25V.
- C_2,C_3 مكثفات بوليستير سعتها 100nF.
- C_4 مكثف كيميائى سعته 10µF وجهده 16V.
- R_1 مقاومة 10Ω وقدرتها 10w.
- R_2 مقاومة 0.12Ω.



الشكل (٣-١٠)

نظرية التشغيل :

عند تيارات الحمل الاقل من 600mA فإن فرق الجهد المتولد على أطراف المقاومة R_1 غير كاف لتحويل الترانزستور Q_1 لحالة التوصل ON ولكن بزيادة التيار عن 600mA فإن فرق الجهد على أطراف المقاومة R_1 سيكون كافيًا لتحويل Q_1 لحالة الوصل، ويمر التيار عبر الترانزستور Q_1 بدلاً من المرور عبر منظم الجهد IC1، وبالتالى يزداد التيار الذى نحصل عليه من الدائرة إلى 5A.

وعندما يزداد التيار المسحوب عن 5A فإن فرق الجهد المتولد على أطراف المقاومة R_2 والتى قيمتها 0.12Ω سيكون كافيًا لتحويل الترانزستور Q_2 لحالة الوصل، فيعمل هذا الترانزستور على إحداث قصر بين باعث وقاعدة الترانزستور Q_1، ويتحول هذا الترانزستور لحالة الفصل.

وبهذه الطريقة نحصل على حماية ذاتية من ارتفاع تيار الحمل.

الدائرة رقم 4 :

الشكل (٣-١١) يعرض دائرة مصدر قدرة يعطى جهد خرج منظم وثابت يساوى 6V+ وخرج منظم يمكن معايرته بواسطة المقاومة RV_1 يساوى 10.5V+، وتستخدم هذه الدائرة كمصدر قدرة لدائرة برمجة ذاكرات PROM والتى سنتناولها فى الباب الثامن.

عناصر الدائرة :

IC_1 منظم جهد له خرج يمكن ضبطه طراز LM317K

IC_2 منظم جهد ثابت له جهد خرج 6V طراز 7806.

R_1 مقاومة كربونية 1KΩ.

R_2 مقاومة كربونية 1.5KΩ.

R_3 مقاومة كربونية 680Ω.

R_4 مقاومة كربونية 390Ω.

RV_1 مقاومة متغيرة 1KΩ.

C_1 مكثف كيميائى 1500µF وجهد تشغيله 25V.

C_2 مكثف سيراميك سعته 100nF.

C_3,C_4,C_6 مكثف كيميائى 10µF وجهد تشغيله 25V.

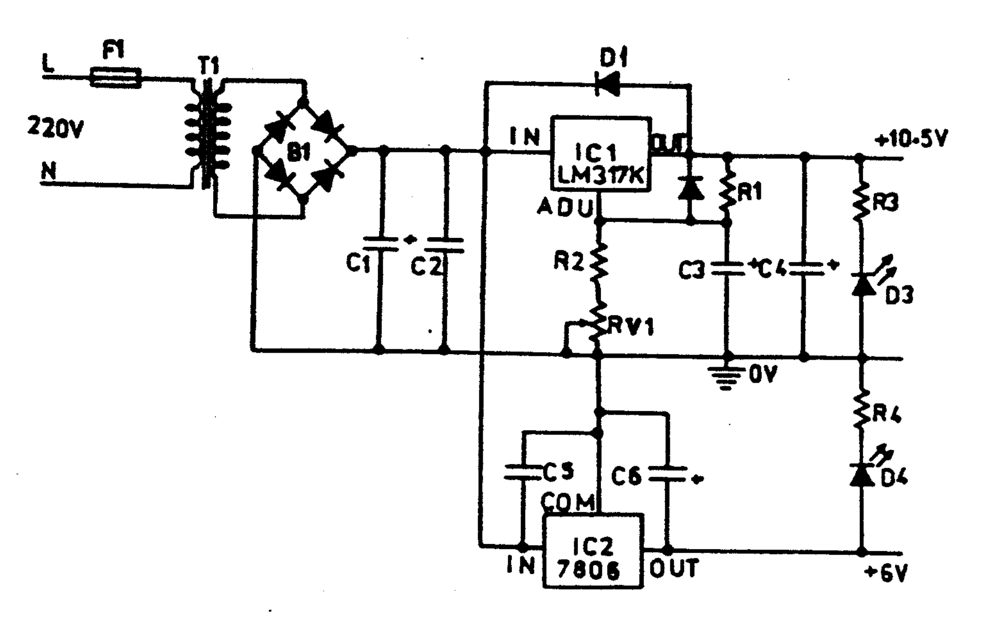
C_5 مكثف سيراميك سعته 270nF.

D_1,D_2 ثنائى طراز 1N4002.

D_3,D_4 ثنائى مشع قياسى.

B_1 قنطرة لها تيار أقصى 3A طراز BR3.

T_1 محول 220/14V وسعته 20VA.



الشكل (٣-١١)

والجدير بالذكر ان كلاً من D_1,D_2 يعملان على حماية المنظم LM317K من القصر عند المدخل وعند المخرج.

ويضىء D_5 للإشارة عن وجود خرج للمنظم IC_1، فى حين يضىء D_4 للإشارة عن وجود خرج للمنظم IC_2.



الباب الرابع

دوائر التحكم فى شدة الإضاءة

دوائر التحكم فى شدة الإضاءة

٤ / ١ - مقدمة :

يمكن التحكم فى شدة إضاءة المصابيح باستخدام الترياكات، وذلك بالتحكم فى زوايا إشعالها.

وعادة فإن هذه الدوائر تحتاج لمرشح بسيط لتقليل تداخل موجات الراديو RFI والتى تؤثر على الأجهزة الالكترونية القريبة. وتتولد RFI نتيجة للوصل والفصل السريع للترياكات، وتنعدم هذه النبضات عندما يحدث إشعال للترياكات عند 180° أو 0°، وتكون أكبر ما يمكن عندما تكون زاوية الإشعال 90°.

وكذلك تزداد RFI بزيادة طول الكابل بين الترياك واللمبة، ويمكن الحد من RFI باستخدام مرشح LC.

وهناك ثلاثة طرق مشهورة للتحكم فى شدة إضاءة اللمبات وهى كما يلى :

١ - إشعال الترياك بدائرة RC .

٢ - إشعال الترياك بترانزستور أحادى الوصلة UJT .

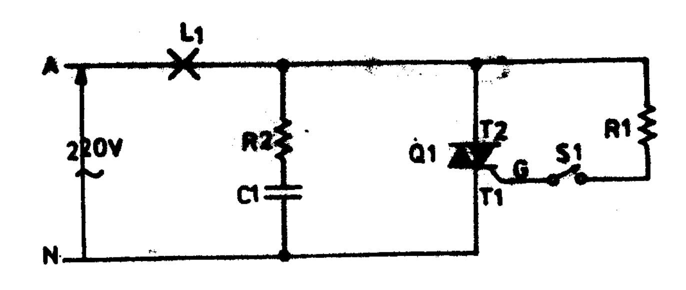
٣ - إشعال الترياك بدوائر متكاملة خارجية .

٤ / ٢ - الدوائر العملية للتحكم فى شدة إضاءة المصابيح الكهربية :

سنتناول فى هذه الفقرة مجموعة من الدوائر العملية للتحكم فى شدة إضاءة المصابيح الكهربية بالتحكم فى زوايا إشعال الترياكات.

الدائرة رقم ١ :

الشكل (٤ - ١) يعرض دائرة بسيطة لمفتاح إستاتيكى يتحكم فى تشغيل وإطفاء مصباح كهربى متوهج.



الشكل (٤ - ١)

عناصر الدائرة:

R_1 مقاومة كربونية 220Ω.

R_2 مقاومة كربونية 100Ω.

C_1 مكثف بولى كربونات سعته 100nF وجهده 400VAC.

Q_1 ترياك تياره 3A طراز C206.

S_1 مفتاح قطب واحد سكة واحدة.

L_1 مصباح كهربى قدرته 100 W.

نظرية التشغيل:

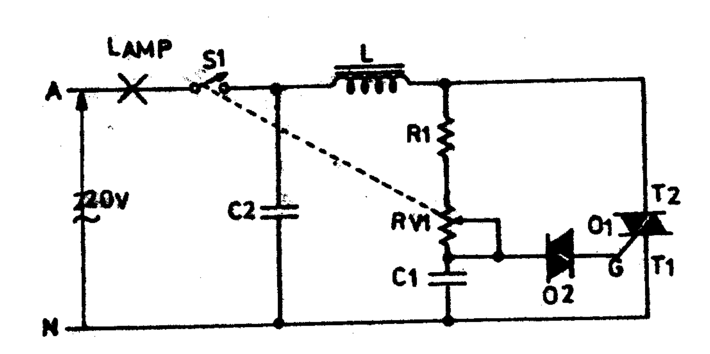
عندما يكون المفتاح S_1 مفتوحا فإن الترياك يكون كما لو كان مفتاحا مفتوحا وعند غلق المفتاح S_1 يشتعل الترياك Q_1 نتيجة لوصول فرق جهد بين بوابة الترياك G، والقاعدة T_1، فيصبح التريك كما لو كان مفتاحا مغلقاً، ويضيء المصباح، ويصبح فرق الجهد بين القاعدتين T_1, T_2 للترياك يقترب من الصفر، وتباعاً يصبح فرق الجهد بين G، T_1 للترياك يقترب من الصفر، وبالتالى فإن الطاقة المفقودة فى المقاومة R_1 تكون اقل ما يمكن.

والجدير بالذكر أن المقاومة R_2 والمكثف C_1 يكونان ما يسمى بدائرة المصيدة Snubber، وهذه الدائرة تمنع حدوث اشتعال ذاتى للترياك نتيجة للتغيرات السريعة فى جهد المصدر. وبمجرد فتح المفتاح S_1 يتحول الترياك لحالة القطع بمجرد مرور

موجة جهد المصدر بالصفر لعدم وجود فرق جهد بين البوابة G والقاعدة T_1 فينطفيء المصباح الكهربى.

الدائرة رقم 2:

الشكل (٤ – ٢) يبين دائرة عملية للتحكم فى شدة إضاءة مصباح كهربى متوهج باستخدام ترياك يتم إشعاله بدائرة RC واحدة.



الشكل (٤ – ٢)

عناصر الدائرة:

R_1 مقاومة كربونية 4.7KΩ وقدرتها 0.5W.

RV_1 مقاومة متغيرة 470KΩ وقدرتها 1W.

L_1 ملف 100 μH.

C_1 مكثف بوليستير سعته 100nF ويعمل عند جهد 50V.

C_2 مكثف بولى كربونات سعته 100nF ويعمل عند جهد 400VAC.

Q_1 ترياك يختار حسب قدرة المصباح.

Q_2 دياك طراز ST2.

LAMP مصباح كهربى.

S_1 مفتاح قطب واحد سكة واحدة.

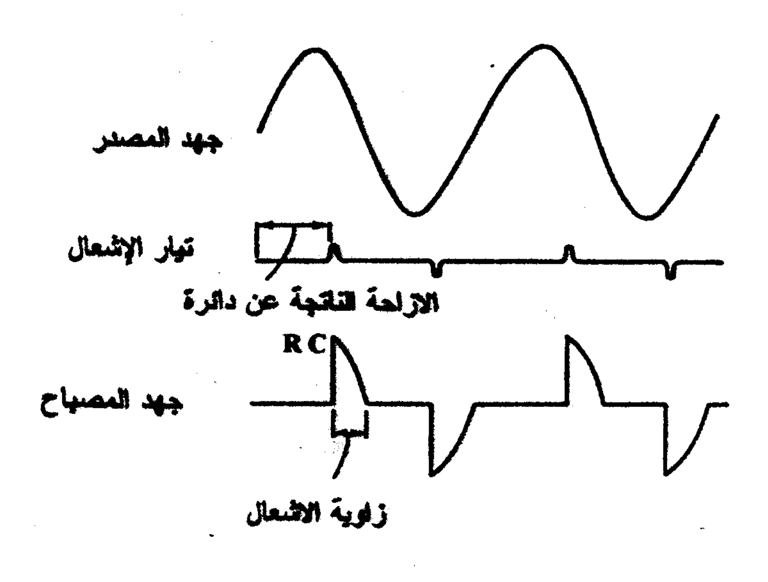
نظرية التشغيل:

تتحكم المقاومات R_1، Rv_1 والمكثف C_1 فى زاوية إشعال الترياك Q_1، فكلما ازدادت قيمة RV_1 ازداد الزمن اللازم لشحن المكثف C_1 للجهد المطلوب لإشعال الدياك Q_2، والذى يساوى 35V تقريباً، عنده يشتعل الدياك وتصل نبضة جهد 5V عبر الدياك من المكثف C_1 لبوابة الترياك G تعمل على إشعال الترياك أيضا بزاوية إشعال كبيرة فتقل شدة إضاءة المصباح، وكلما قلت قيمة RV_1 قل الزمن اللازم لشحن المكثف C_1 للجهد المطلوب لإشعال الدياك، وتباعًا لإشعال الترياك، وتقل زاوية إشعال الترياك وتزداد شدة إضاءة المصباح.

ويعاب على هذه الدائرة ما يعرف بالرجوعية Hystresis، بمعنى أنه عند ضبط المقاومة Rv_1 للحصول على إضاءة خافتة، ثم غلق المفتاح S_1، فإن المصباح سوف يضىء بضوء خافت فى أول نصف دورة، ولكن سرعان ما يحدث إشعال مبكر يؤدى إلى زيادة شدة إضاءة المصباح فى الدورات التالية وبالتالى يصبح من المستحيل ضبط شدة إضاءة المصباح منذ البداية، بل يجب إعادة ضبط شدة إضاءة المصباح بعد إضاءته وذلك بواسطة المقاومة RV_1.

والجدير بالذكر أن الديمرات الالكترونية الخاصة بالمصابيح المتوهجة والمتوفرة فى الأسواق تحتوى على بكرة واحدة للتحكم فى وصل وفصل المصباح، وكذلك فى التحكم فى شدة إضاءته، وذلك بدمج المفتاح S_1 مع المقاومة المتغيرة RV_1 معًا.

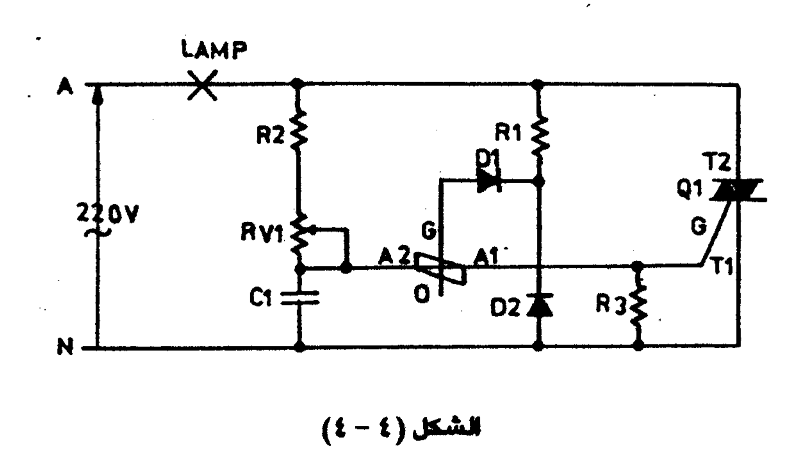
والشكل (٤ – ٣) يعرض موجات كل من جهد المصدر وتيار الدياك وجهد المصباح.



الشكل (٤ - ٣)

الدائرة رقم 3:

الشكل (٤ - ٤) يعرض دائرة للتحكم فى شدة إضاءة مصباح كهربى متوهج تصل قدرته 800 W باستخدام ترياك يتم إشعاله بدائرة RC، وتتميز هذه الدائرة بأنها خالية تماماً من الرجوعية Hystresis Free.



الشكل (٤ - ٤)

عناصر الدائرة:

R_1, R_2	مقاومة كربونية $4.7K\Omega$
R_3	مقاومة كربونية 100Ω.
RV_1	مقاومة متغيرة $0.5M\Omega$
C_1	مكثف بوليستير سعته $0.22\mu F$ وجهده $400V$.
D_1, D_2	ثنائيات جرمانيوم طراز GRS5GC1LAJ1.
Q_1	ترياك طراز SC40B او SC41B.
Q_2	مفتاح سليكونى ثنائى الاتجاه SBS طراز 2N4992.

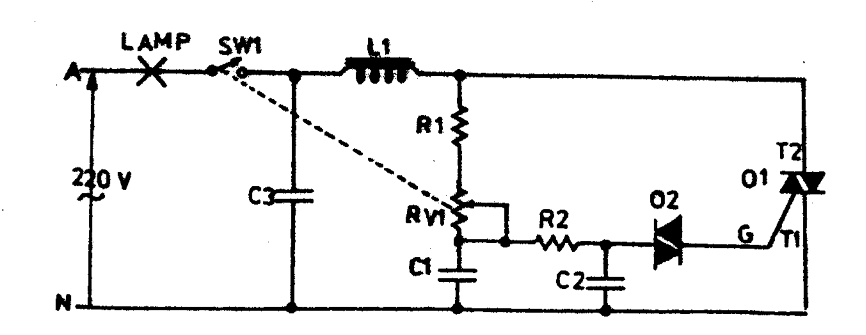
نظرية التشغيل:

لنفرض أن المقاومة RV_1 ضبطت عند قيمة تجعل جهد المكثف C_1 لا يصل لجهد الانهيار الفوقى للمفتاح السليكونى الثنائى الاتجاه Q_2 والذى يساوى $\pm 8V$ حينئذ، فإن الترياك Q_1 لن يشتعل، وبالتالى يظل المصباح معتما، ولكن خلال نصف الموجة الموجب يشحن المكثف C_1 فيصبح القطب الموجب هو اللوح العلوى للمكثف والقطب السالب هو اللوح السفلى للمكثف، وعند انتهاء نصف الموجة الموجب ووصول جهد المصدر للصفر عندئذ يصبح الطرف العلوى للمصدر (A) جهده $0V$ بالنسبة للطرف السفلى (N)، وهذا يعنى أن جهد النقطة التى أعلى المقاومة R_1 يكون صفراً بالنسبة لجهد اللوح العلوى للمكثف C_1، وذلك لان المكثف قد شحن فى نصف الموجة الموجب. وهذا يشكل فرق جهد بين الطرف A_2 للمفتاح السليكونى Q_2 وأعلى المقاومة R_1 مما يجعل الثنائى D_1 منحازاً اماميًا ويسبب إمرار تيار بوابة صغير للمفتاح السليكونى Q_2 فيمر فى المسار A_2 إلى G ومع هذا التيار الصغير وعند فرق الجهد بين A_1, A_2 للمفتاح السليكونى Q_2 والذى يساوى تقريبًا جهد المكثف C_1 يحدث انهيار للمفتاح Q_2 خصوصًا إذا كان هذا الجهد أكبر من $1V$، وتباعًا يحدث إشعال للترياك. ويقوم المكثف بتفريغ شحنته فى المقاومة R_3، وبالتالى تبدأ دورة السالبة لموجة جهد المصدر والمكثف C_1 مفرغ تمامًا، وبالتالى تتكرر دورة إشعال فى نصف الموجة السالب بدون خوف من حدوث إشعال مسبق،

كما هو الحال عند استعمال دياك (كما فى الدائرة رقم 2) والناشئ عن وجود شحنة متبقية فى المكثف بعد كل دورة تشغيل. وخلاصة القول ان ظاهرة الرجوعية تختفى تماماً عند استخدام مفتاح سليكونى ثنائى الاتجاه SBS .

دائرة رقم 4 :

الشكل (٤ – ٥) يعرض احد الدوائر العملية للتحكم فى شدة إضاءة مصباح كهربى متوهج باستخدام ترياك يتم إشعاله بدائرتين RC .



الشكل (٤ – ٥)

عناصر الدائرة :

R_1 مقاومة كربونية 4.7KΩ وقدرتها 2W .

RV_1 مقاومة متغيرة 470KΩ وقدرتها 1W .

R_2 مقاومة كربونية 15KΩ وقدرتها 2W .

C_1 مكثف بولى كربونات 100nF ويعمل عند جهد 400V .

C_2 مكثف بوليستير 10nF ويعمل عند جهد 100V .

C_3 مكثف بولى كربونات 100nF ويعمل عند جهد 400V .

L_1 ملف 100 µH .

Q_1 ترياك يختار حسب قدرة المصباح .

Q_2 دياك طراز ST2.

SW_1 مفتاح قطب واحد سكة واحدة.

LAMP مصباح كهربى.

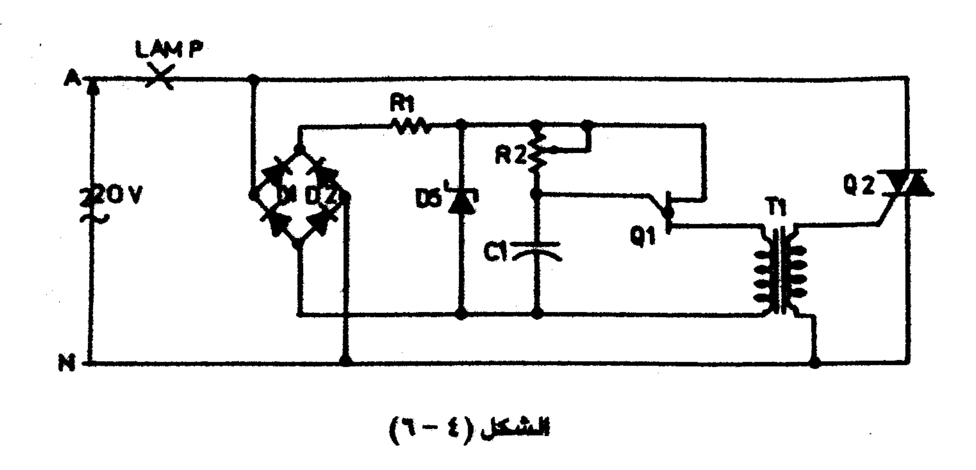
نظرية التشغيل:

لا تختلف هذه الدائرة عن دائرة التحكم فى شدة إضاءة مصباح متوهج باستخدام دائرة RC واحدة إلا فى استخدام دائرة RC تابعة لإشعال الدياك؛ وذلك للتغلب على مشكلة Hystresis التى تحدث عند استخدام دائرة RC واحدة. ففى حالة استخدام دائرة RC واحدة كما بالدائرة رقم 2، وتم تخفيض إضاءة اللمبة بزيادة RV_1 إلى 470K، ثم أطفأت اللمبة بعد ذلك ثم تشغيلها ثانية على نفس الضبط - فإن المصباح لن يضىء مرة أخرى إلا عند تخفيض قيمة RV_1 إلى 400K وبالتالى يضىء المصباح بشدة إضاءة عالية نسبيًا. أما فى الدائرة التى بصددها فإن الدياك Q_2 يتم إشعاله من المكثف C_2 والذى يتبع التأخير فى الوجه الناتج عن C_1، ويعمل C_2 على حماية C_1 من التفريغ عندما يشتعل الدياك Q_2، حيث إن زمن تفريغ C_1 يكون عادة أكبر من زمن تفريغ المكثف C_2 مما يمنع حدوث تغير شديد فى الجهد على أطراف المكثف C_1، وبالتالى يمكن إضاءة المصباح عند نفس الضبط الذى كان عليه عند إطفائه بواسطة المفتاح S_1.

ويتميز استخدام دائرتين RC بزيادة مدى تغيير زاوية إشعال الترياك عن مثيلتها عند استخدام دائرة RC واحدة، فيزداد مدى ضبط إضاءة المصباح عند استخدام دائرتين RC.

الدائرة رقم 5:

الشكل (٤ - ٦) يعرض دائرة عملية للتحكم فى شدة إضاءة مصباح متوهج يعمل عند جهد 220V وقدرته 800W، مستخدمًا ترانزستور أحادى الوصلة مع محول نبضات.



الشكل (٤ - ٦)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة 15KΩ وقدرتها 6W.
R_2	مقاومة متغيرة 200KΩ.
C_1	مكثف كيميائي سعته 0.1µF وجهده 16V.
D_1 - D_4	أربعة ثنائيات طراز 1N4004.
D_5	ثنائي زينر جهده 22V طراز 1N4748.
Q_1	ترانزستور UJT طراز 2N4871.
Q_2	ترياك طراز 2N6346 أو 2N5569.
T_1	محول نبضات طراز Sprague 11Z12.
LAMP	مصباح كهربي قدرته 800W.

نظرية التشغيل:

تقوم قنطرة التوحيد المؤلفة من الثنائيات D_1 - D_4 بتوحيد موجة المصدر المتردد توحيداً كاملاً، ويقوم ثنائي الزينر بالمحافظة على جهد دائرة التحكم في إشعال الترياك Q_2 مساوياً 22V.

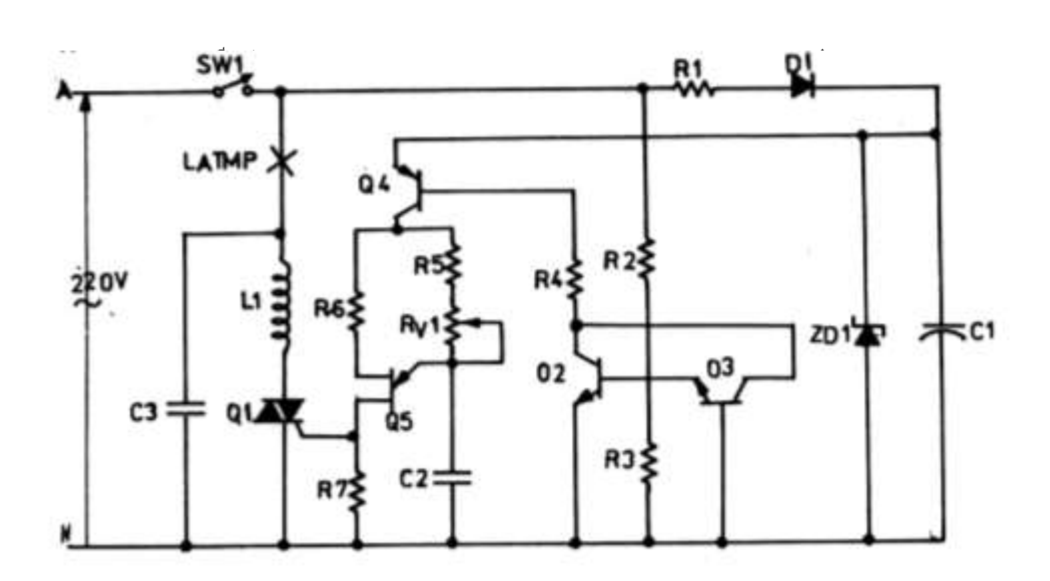
ويعمل المذبذب المتراخى المؤلف من Q_1, R_2, C_1 على توليد نبضات إشعال الترياك بتردد يساوى:

$$F = \frac{1}{R_2C_1} \geq 50HZ$$

وتنتقل هذه النبضات عبر محول النبضات T_1 لبوابة الترياك Q_2، ويمكن التحكم فى تردد هذه النبضات بواسطة المقاومة المتغيرة R_2، وبالتالى التحكم فى زاوية إشعال الترياك، ومن ثم التحكم فى شدة إضاءة المصباح.

الدائرة رقم 6 :

الشكل (٤ - ٧) يعرض أحد الدوائر العملية للتحكم فى شدة إضاءة مصباح كهربى متوهج باستخدام ترياك يتم إشعاله بترانزستور أحادى الوصلة، وتتميز هذه الدائرة باختفاء ظاهرة الرجوعية Hystresis فيها.



الشكل (٤ - ٧)

عناصر الدائرة:

R_1 مقاومة 6.8 KΩ وقدرتها 5W.

R_2 مقاومة كربونية 100 KΩ وقدرتها 1W .

R_3 مقاومة كربونية 12K Ω .

R_4 مقاومة كربونية 22K Ω .

R_5 مقاومة كربونية 6.8 K Ω .

R_6 مقاومة كربونية 120 Ω .

R_7 مقاومة كربونية 100 Ω .

RV_1 مقاومة متغيرة 270K .

C_1 مكثف كيميائى 270 μF وجهده 16V .

C_2 مكثف بوليستير سعته 22 nF .

C_3 مكثف بولى كربونات سعته 100nF وجهده 400V .

Q_1 ترياك يختار حسب قدرة المصباح.

Q_2 و Q_3 ترانزستور NPN طراز 2N3904.

Q_4 ترانزستور NPN طراز 2N3906.

Q_5 ترانزستورأحادى الوصلة طراز 2N2646 .

L_1 ملف 100 μH .

D_1 ثنائى سليكونى 1N4004 .

ZD_1 ثنائى زينر جهده 12V .

SW_1 مفتاح قطب واحد سكة واحدة.

نظرية التشغيل:

يعمل الثنائى D_1 على توحيد نصف موجة لموجة المصدر المتردد، ويقوم المكثف C_1 بتنعيم الخرج المستمر للثنائى D_1، ويعمل ZD_1 على المحافظة على جهد أطراف دائرة Q_5 مساوياً $+12V$. وتعمل الترانزستورات Q_2, Q_3, Q_4 ككاشف لصفر موجة التيار المتردد للمصدر، فعندما يكون جهد المصدر موجبا يعمل Q_2 فيصبح جهد مجمعه مساوياً الصفر، فينتقل هذا الجهد لقاعدة Q_4 فيعمل Q_4، وبالتالى يصل جهد ثنائى الزينر ZD_1 إلى Q_5. وعندما يكون جهد المصدر سالبا يعمل Q_3، لان جهد قاعدته يساوى صفراً وجهد باعثه بالسالب، وتباعًا يعمل Q_4 فيصل جهد ثنائى الزينر ZD_1 إلى Q_5. أى أن الجهد $+12V$ لن يصل إلى الترانزستور الأحادى الوصلة Q_5 إلا عندما يكون الجهد المتردد موجبا أو سالبا وليس صفراً وبهذه الطريقة فإن Q_4 يسمح بوصول الجهد إلى Q_5 باستمرار عدا لحظة عبور موجة جهد المصدر بالصفر. وبعد وصول الجهد للترانزستور Q_5 وبعد تأخير زمنى يحدد بقيم R_5، RV_1، C_2 تصل نبضة إشعال لبوابة الترياك Q_1 من خلال الترانزستور Q_5. وفى نهاية نصف الدورة فإن الجهد $+12V$ ينقطع عن Q_5 وتبدأ نصف دورة جديدة وهكذا.

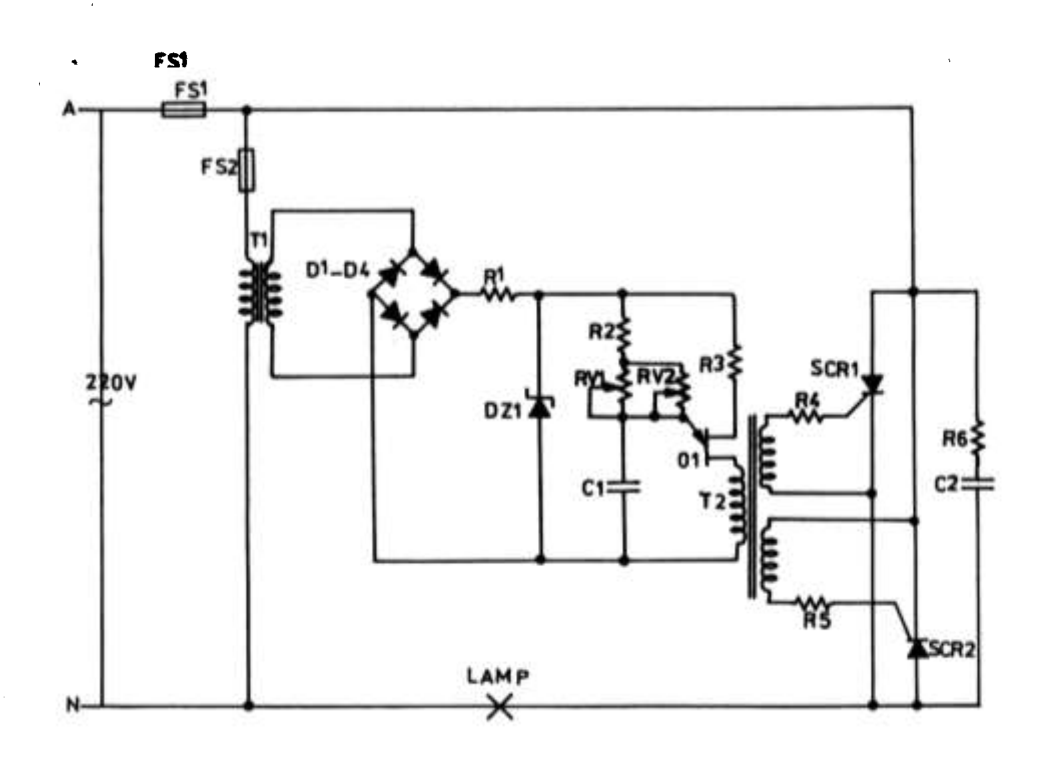
ويمكن بواسطة المقاومة RV_1 التحكم فى تردد Q_5، حيث إن تردده يساوى:

$$F = \frac{1}{(R_5 + RV_1)\, C_2} = 164: 6685 \text{ HZ}$$

فعندما يكون قيمة المقاومة RV_1 صفراً فإن التردد يصبح مساوياً 6685HZ، وبالتالى يشتعل التريك Q_1 عند زاوية إشعال تقترب من الصفر، وتباعًا يصبح جهد المصباح مساوياً لجهد المصدر تقريباً، وتصبح شدة إضاءة المصباح أعلى ما يمكن، فى حين انه عندما تكون قيمة RV_1 مساوية 270K فإن التردد يصبح 164HZ، وبالتالى يشتعل الترياك Q_1 عند زاوية إشعال أكبر من $90°$، الأمر الذى يؤدى إلى انخفاض إضاءة المصباح إلى أقل درجة ممكنة.

الدائرة رقم 7:

الشكل (٤ – ٨) يعرض دائرة تحكم فى شدة إضاءة مصباح كهربى قدرته 750W.



الشكل (٤ - ٨)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية 1.5 KΩ وقدرتها 1W .
R_2	مقاومة كربونية 4.7KΩ .
R_3	مقاومة كربونية 150 Ω .
R_4	مقاومة كربونية 10 Ω .
R_5	مقاومة كربونية 10 Ω .

R_6	مقاومة كربونية $120\,\Omega$.
RV_1	مقاومة متغيرة $100K\,\Omega$.
RV_2	مقاومة متغيرة $200K\,\Omega$.
C_1	مكثف بوليستير سعته $0.22\mu F$.
C_2	مكثف بولى كربونات سعته $0.1\mu F$ وجهده 300VAC.
D_1 - D_4	ثنائيات سليكونية طراز 1N4003 .
DZ_1	ثنائى زينر طراز BZ X 61 جهده 10V .
SCR_1, SCR_2	ثايرستورات طراز 2N443 .
Q_1	ترانزستور أحادى الوصلة طراز TIS43 .
T_1	محول خفض 220/40V وسعته 20VA .
T_2	محول نبضات بملفين ثانويين 1:1 .
FS_1	مصهر تياره 5A .
FS_2	مصهر بطئ Anti Surge تياره المقنن 100mA .
LAMP	مصباح متوهج قدرته 750w.

نظرية التشغيل:

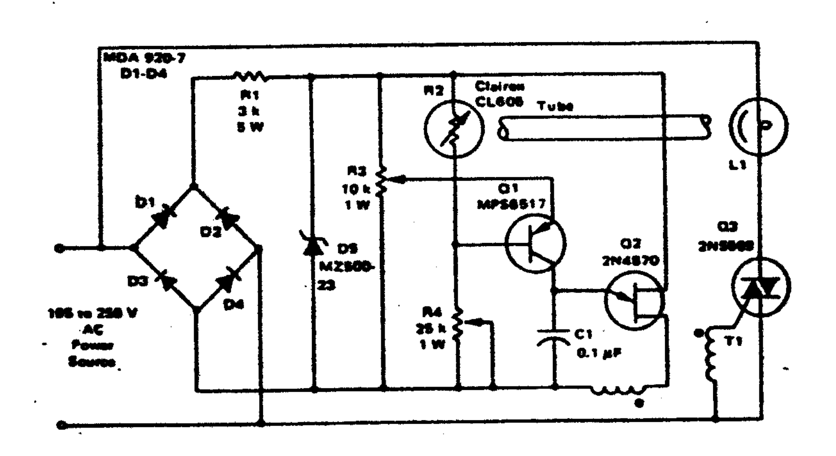
تتميز هذه الدائرة بوجود عزل كامل بين دائرة التحكم ودائرة القدرة بواسطة المحولين T_1, T_2، ويعمل المحول T_1 على خفض جهد المصدر من 220V إلى 40V، وتقوم قنطرة التوحيد المؤلفة من D_1 - D_4 بتوحيد خرج المحول T_1 ليصبح خرجها مساوياً 55V بتيار مستمر غير منعم، وبواسطة ثنائى الزينر DZ1 والمقاومة R1 يصبح الجهد على أطراف ثنائى الزينر DZ1 مساوياً +10V. وفى بداية كل نصف دورة يشحن C1 من خلال الدائرة R_2, RV_1, RV_2 ويزداد جهد باعث الترانزستور الأحادى الوصلة، ويعتبر معدل ارتفاع هذا الجهد على ضبط المقاومة المتغيرة RV_1، وعندما يصل الجهد على أطراف C_1 للجهد اللازم لإشعال الترانزستور Q_1 يشتعل فتصل نبضة إشعال للثايرستورات عبر محول النبضات T_2 فيشتعل الثايرستور

المنحاز أماميًا ويصل التيار الكهربي للمصباح. وفي نصف الموجة التالي يشحن المكثف C_1 مرة أخرى وتنتقل نبضة إشعال بنفس الطريقة عبر محول النبضات إلى الثايرستور الثاني وهكذا. وعندما تكون قيمة RV_1 صغيرة فإن C_1 يشحن بسرعة فتصل نبضة مبكرة للثايرستورات، وبالتالي تزداد القدرة الكهربية التي تصل للمصباح، وتزداد شدة إضاءته والعكس بالعكس.

ويمكن من خلال RV_2 ضبط الحد الأدنى للقدرة المطلوبة عند المصباح.

الدائرة رقم 8:

الشكل (٤ – ٩) يعرض دائرة عملية للتحكم في جهد تشغيل مصباح كهربي بتثبيته عند 100V عند تغير جهد المصدر من 250V : 105 للحصول على ضوء ثابت، وذلك بعمل تغذية مرتدة بمقاومة ضوئية للتحكم في إشعال ترياك.



الشكل (٤ – ٩)

عناصر الدائرة

R_1 مقاومة 3 KΩ وقدرتها 5W.

R_2 مقاومة ضوئية طراز Clairex CL605 النسبة بين مقاومتها في الضوء

لمقاومتها فى الظلام 1/ 100 .

R_3	مجزىء جهد 10K Ω وقدرته 1W .
R_4	مقاومة متغيرة 25K Ω وقدرتها 1W .
C_1	مكثف كيميائى سعته 0.1μF وجهده 25V .
D_1 - D_4	ثنائيات سليكونية طراز 7 - MDA 920 .
D_5	ثنائى زينر طراز MZ 500-23 وجهده 20V .
Q_1	ترانزستور PNP طراز MPS 6517 .
Q_2	ترانزستور أحادى الوصلة طراز 2N4870 .
Q_3	ترياك طراز 2N5569 .
T_1	محول نبضات طراز Sprague 11Z12 .
L_1	مصباح كهربى قدرته 150W مزود بمرآة عاكسة داخلية .

نظرية التشغيل :

إن شدة إضاءة المصباح L_1 تعتمد على الجهد الذى يعمل عنده المصباح. والجدير بالذكر أن المصباح L_1 يتم تثبيته داخل صندوق مغطى من الداخل بورق الومنيوم ومثقوب، ويتصل بهذا الثقب قناة تؤدى لمقاومة ضوئية بحيث لا تتعرض المقاومة الضوئية إلا للضوء المنبعث من المصباح، فكلما ازدادت شدة إضاءة المصباح قلت قيمة المقاومة الضوئية R_2 . فإذا ازداد جهد المصدر يزداد شدة إضاءة المصباح L_1 فتقل قيمة المقاومة الضوئية R_2 فيقل تيار مجمع الترانزستور Q_1 فيزداد الزمن اللازم لشحن المكثف C_1 ، وبالتالى يتأخر إشعال الترياك فيقل الجهد المتشكل على أطراف المصباح. أما عندما يقل جهد المصدر فتقل شدة إضاءة المصباح الكهربى L_1 فتزداد R_2 ويزداد تيار مجمع الترانزستور Q_1 فيقل الزمن اللازم لشحن C_1، وبالتالى يتقدم إشعال الترياك، ويزداد الجهد المتشكل على أطراف المصباح.

ولضبط هذه الدائرة نتبع الخطوات التالية :

١ - يتم تخفيض جهد المصدر إلى 110V، ثم يضبط الجهد على أطراف المصباح الكهربى L_1 مساوياً 100V بالاستعانة بالمقاومة R_4.

٢ - يتم رفع جهد المصدر إلى 250V ثم يضبط الجهد على أطراف المصباح 100V وذلك بالاستعانة بالمقاومة R_3.

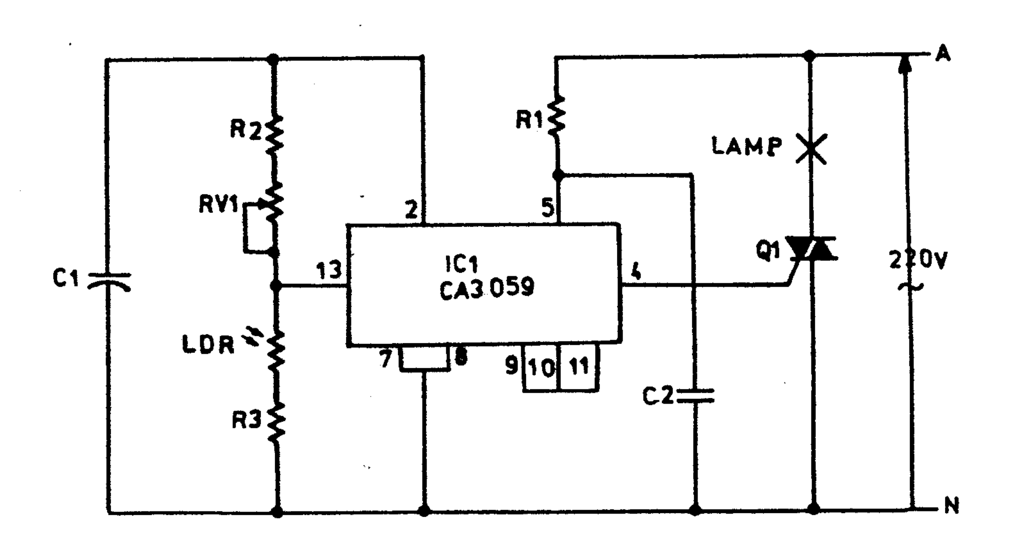
وبذلك نحصل على جهد مصباح يساوى 100V ± 2V فى جميع الظروف.

٦ / ٣ - الدوائر العملية لوصل وفصل المصابيح عند العبور بالصفر :

فى هذه الفقرة سنتناول بعض الدوائر العملية لوصل وفصل المصابيح تبعاً للإضاءة الخارجية، باستخدام دوائر متكاملة لمفاتيح عبور الصفر (ZCS).

الدائرة رقم 1 :

الشكل (٤ - ١٠) يعرض دائرة الكترونية للتحكم فى إضاءة مصباح كهربى عند الإظلام.



الشكل (٤ - ١٠)

عناصر الدائرة:

R_1 مقاومة $22\ K\Omega$ وقدرتها $5W$.

R_2, R_3 مقاومات كربونية $2.2K\ \Omega$.

RV_1 مقاومة متغيرة $10\ K\Omega$.

LDR مقاومة ضوئية طراز ORP 12 .

C_1 مكثف كيميائى سعته $100\ \mu F$ وجهده $15V$.

C_2 مكثف بوليستير سعته $10\ nF$.

Q_1 ترياك يختار حسب قدرة المصباح.

IC_1 دائرة متكاملة لإشعال الترياك عند العبور بالصفر طراز CA 3059 .

LAMP مصباح كهربى.

نظرية التشغيل:

نظراً لتوصيل الأرجل 11 ,10 ,9 للدائرة المتكاملة IC_1 لذلك فإن جهد الرجل 9 سيكون مساوياً 3V + (انظر الفقرة ١ / ١٠ / ٣)، وعندما يكون جهد مدخل التحكم (الرجل 13) أعلى من جهد الرجل 9 تصل نبضات لإشعال الترياك Q_1 من الرجل 4 . ويتم التحكم فى جهد الرجل 13 بواسطة مجزىء الجهد المؤلف من المقاومات R_2, RV_1, LDR_1, R_3.

والجدير بالذكر أن جهد الرجل 2 يساوى 6V + وجهد الرجل 7 يساوى 0V، وهما طرفا مصدر القدرة الداخلى. ففى ضوء النهار فإن مقاومة LDR تكون صغيرة، وبالتالى يصبح جهد الرجل 13 أقل من جهد الرجل 9؛ وذلك لأن الجهد عند الرجل 9 يساوى:

$$\frac{LDR + R_3}{R_2 + R_1 + RV_1} \times 6 < 3V$$

مما يؤدى لتحول الترياك Q_1 لحالة القطع.

وفى الليل تصبح مقاومة LDR كبيرة جداً، وبالتالى يصبح جهد الرجل 13 أعلى من جهد الرجل 9؛ وذلك لأن الجهد عند الرجل 9 يساوى:

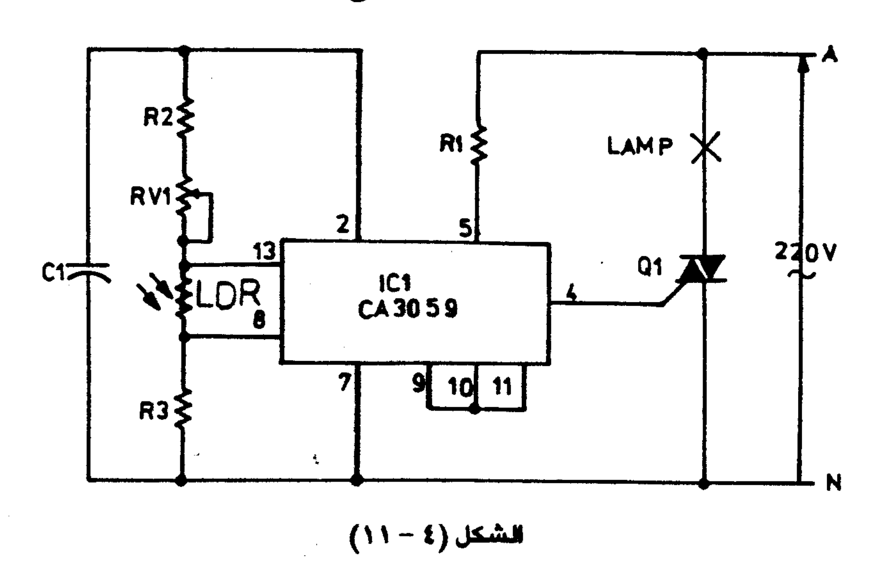
$$\frac{LDR + R_3}{R_2 + R_1 + RV_1} \times 6 > 3V$$

فتقل نبضات إشعال للترياك، ويتحول الترياك لحالة الوصل ويضىء المصباح الكهربى. ويمكن التحكم فى مستوى الإضاءة الخارجية التى تعمل عندها الدائرة بواسطة المقاومة RV_1. ويعاب على هذه الدائرة أنه عندما تتعرض المقاومة LDR لحائل يحول بينها وبين الضوء ولو للحظة يتحول التريك لحالة الوصل ويضىء المصباح الكهربى.

الدائرة رقم 2:

الشكل (٤ – ١١) يعرض دائرة الكترونية للتحكم فى إضاءة مصباح كهربى عند الإظلام.

وتتميز هذه الدائرة باحتوائها على رجوعية تمنع إضاءة المصباح عند تعرض المقاومة الضوئية LDR لحائل، حيث يضىء المصباح بعد فترة زمنية من الإظلام.



الشكل (٤ – ١١)

عناصر الدائرة:

- R_1 مقاومة 22 KΩ وقدرتها 5W.
- R_2 مقاومة كربونية 2. 2 KΩ.
- R_3 مقاومة كربونية 1 KΩ.
- LDR مقاومة ضوئية طراز ORP 12 .
- C_1 مكثف كيميائى سعته 100 µF وجهده 15V.
- C_2 مكثف بوليستير سعته 10 nF .
- Q_1 ترياك يختار حسب قدرة المصباح.
- IC_1 دائرة متكاملة لإشعال الترياك عند العبور بالصفر طراز CA 3059.
- LAMP مصباح كهربى.

نظرية التشغيل:

تتميز هذه الدائرة عن الدائرة السابقة فى وجود رجوعية تمنع عمل الترياك بمجرد انقطاع سقوط الشعاع الضوئى على المقاومة LDR، نتيجة لمرور حائل يحول بينها وبين الضوء للحظات قليلة، ويتم التحكم فى زمن التأخير الذى بعده يعمل الترياك عند انقطاع سقوط الشعاع الضوئى على المقاومة الضوئية LDR بواسطة المقاومة R_3 لذلك تختار قيمة المقاومة R_3 تبعًا لنوع التطبيق.

ويمكن التحكم فى مستوى الإضاءة الخارجية التى تعمل عندها الدائرة بواسطة المقاومة المتغيرة RV_1.

الباب الخامس

دوائر التحكم فى السخانات الكهربية

دوائر التحكم فى السخانات الكهربية

٥ / ١ مقدمة :

يمكن تقسيم السخانات إلى :

١ – سخانات ذات قدرة ثابتة . وتتميز هذه السخانات بثبات قيمة جهد أطرافها، وبمجرد وصول درجة حرارة السخان للدرجة المطلوبة (T_1 مثلا) ينقطع التيار الكهربى عن السخان حتى تنخفض درجة حرارة السخان لتصبح T_2 مثلا، حينئذ تتكرر دورة التشغيل من جديد ويقال إن هذه السخانات برجوعية Hystresis مقدارها $\Delta T = T_1 - T_2$ وهذه الرجوعية تعتمد على تصميم الدائرة .

٢ – سخانات ذات قدرة متغيرة . حيث إن القدرة الكهربية لهذه السخانات فى اى لحظة تعتمد على درجة الحرارة اللحظية لها، وتتميز هذه السخانات بدقتها العالية، حيث تثبت درجة حرارتها مع خطأ صغير جداً .

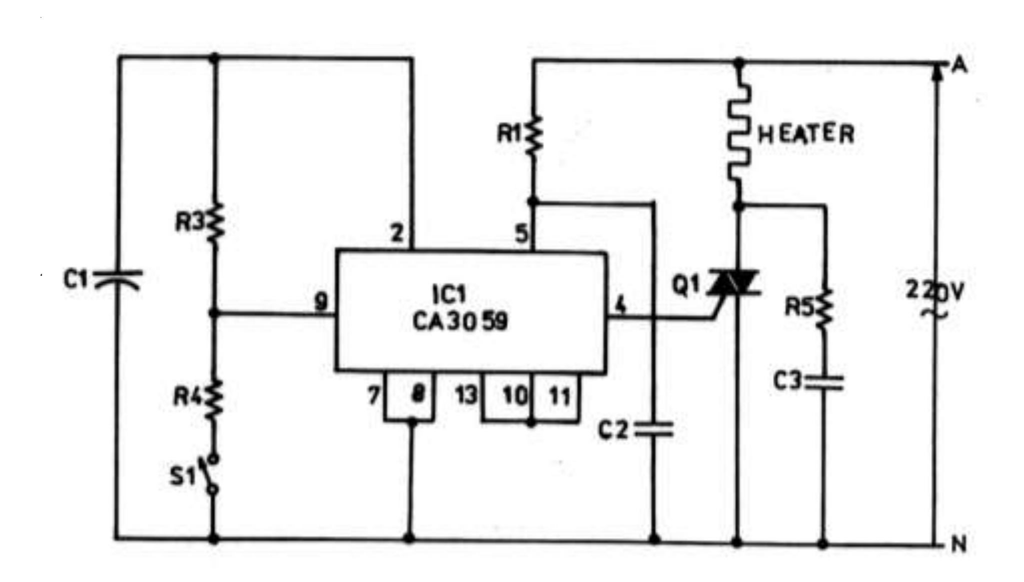
وعادة تستخدم الترياكات والثايرستورات فى التحكم فى جهد أطراف هذه السخانات بالاستعانة بعناصر لاستشعار درجة الحرارة .

٥ / ٢ الدوائر العملية للتحكم فى السخانات ذات القدرة الثابتة :

سنتناول فى هذه الفقرة مجموعة من الدوائر العملية لوصل وفصل السخانات عند عبورموجة جهد المصدر المتردد بالصفر للتقليل من RFI (تداخل موجات الراديو مع الأجهزة الالكترونية) قدر الإمكان .

الدائرة رقم 1 :

الشكل (٥–١) يعرض دائرة عملية لوصل وفصل سخان كهربى عند زوايا إشعال تساوى صفراً يدوياً بواسطة المفتاح S_1 .



الشكل (٥ - ١)

عناصر الدائرة:

R_1 مقاومة 22KΩ ، وقدرتها 5W .

R_2 مقاومة كربونية 100 Ω .

R_3 مقاومة كربونية 10K Ω .

R_4 مقاومة كربونية 4.7 Ω .

R_5 مقاومة كربونية 100 Ω .

C_1 مكثف كيميائي سعته 100μF وجهده 15V .

C_2 مكثف بوليستير 10nF .

C_3 مكثف بولي كربونات 100nF يعمل وجهده 400V .

Q_1 ترياك يختار حسب قدرة السخان.

IC_1 دائرة متكاملة طراز CA3059 .

نظرية التشغيل :

نظرًا لتوصيل الأرجل 13 , 11 , 10 للدائرة المتكاملة IC_1 معًا لذلك فإن جهد الرجل 13 يكون مساويًا 3V + حيث إن جهد الرجل 11 , 10 عند توصيلها معًا يساوى 3V + (من خواص الدائرة المتكاملة CA 3059)، وعندما يكون جهد الرجل 9 أقل من جهد الرجل 13 تصل نبضات لإشعال الترياك من الرجل 4 . ويتم التحكم فى جهد الرجل 9 بواسطة مَجزئ الجهد المؤلف من R_3 ، R_4 والموصل بين طرفى مصدر القدرة الداخلى المتشكل على الرجل 2 , 7، حيث إن فرق الجهد بينهما يساوى 6V + فبمجرد غلق المفتاح S_1 يصبح جهد الرجل 9 مساويًا :

$$\frac{R_3}{R_3 + R_4} \times 6 = 1.9 \text{ V}$$

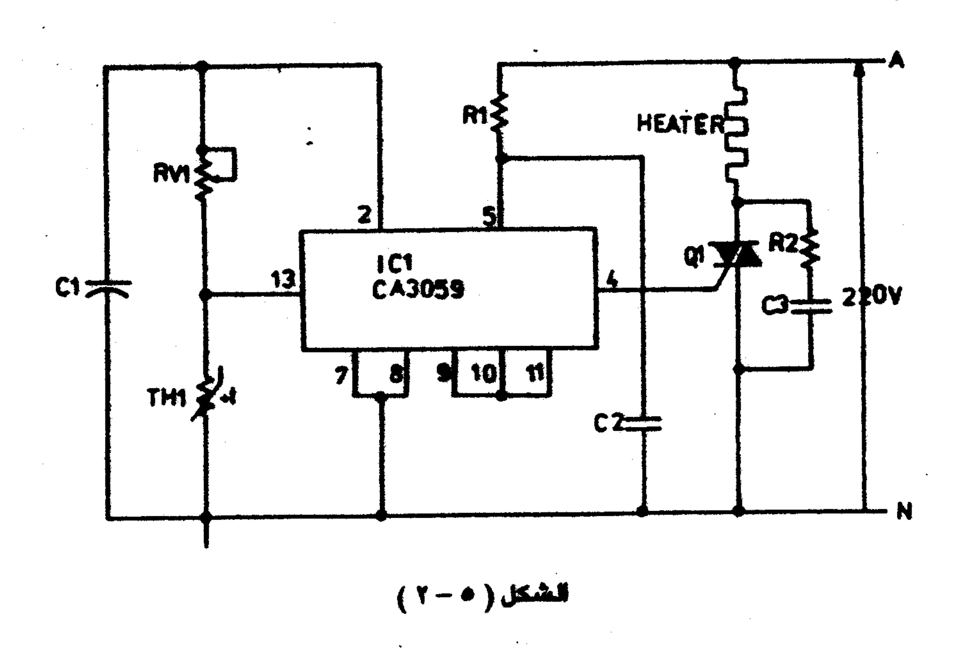
وحيث إن جهد الرجل 13 أكبر من جهد الرجل 9 لذلك تصل نبضات إشعال للترياك من الرجل 4 تعمل على إشعال الترياك وذلك عند مرور موجة جهد المصدر بالصفر، ويقوم المكثف C_2 بعمل تأخير زمنى للرجل 5 (رجل كشف عبور الصفر) مما تؤدى لإحداث إشعال بعد إزاحة صغيرة فى الطور عن نقطة عبور الصفر.

وبهذه الطريقة تمنع تولد نبضات RFI التى تؤثر على الأجهزة الالكترونية القريبة .

والجدير بالذكر أن R_5 , C_3 يمنعا تحول الترياك Q_1 لحالة الوصل عند حدوث قفزات سريعة لجهد المصدر المتردد، ويشكلان ما يسمى بدائرة المصيدة Snubber.

الدائرة رقم 2 :

الشكل (٥ - ٢) يعرض دائرة عملية للتحكم فى سخان كهربى، حيث يتم التحكم فى وصل وفصل الترياك بواسطة الدائرة المتكاملة CA3059 لوصل السخان عند زاوية إشعال مساوية الصفر أتوماتيكيًا، وتكون قدرة السخان ثابتة طوال فترة تشغيله وتساوى قدرته الكاملة.



الشكل (٥ - ٢)

عناصر الدائرة :

- R_1 مقاومة 22KΩ ، وقدرتها 5W .
- R_2 مقاومة كربونية 100 Ω .
- RV_1 مقاومة متغيرة 27K Ω.
- TH_1 مقاومة حرارية طراز VA1055S.
- C_1 مكثف كيميائى سعته 100µF وجهده 15V .
- C_2 مكثف بوليستير 10nf .
- C_3 مكثف بولى كربونات 100nf وجهده 400V .
- Q_1 ترياك يختار حسب قدرة السخان.
- IC_1 دائرة متكاملة لإشعال الترياك عند عبور موجة جهد المصدر بالصفر طراز CA3059 .

نظرية التشغيل :

نظراً لتوصيل الأرجل 11 , 10 , 9 للدائرة المتكاملة IC1 معاً لذلك فإن جهد الرجل9 يكون مساوياً 3V + ، حيث إن جهد الرجل 11 , 10 عند توصيلها معاً يساوى 3V+ (من خواص الدائرة المتكاملة CA3059)، وعندما يكون جهد الرجل 13 أكبر من جهد الرجل 9 تصل نبضات إشعال للترياك من الرجل 4 . ويتم التحكم فى جهد الرجل 13 بواسطة مجزئ الجهد المتشكل بين الأرجل 7 و 2 من المقاومات TH_1 , RV_1 . ويمكن ضبط درجة الحرارة المطلوبة بواسطة RV_1، حيث إن جهد الرجل 13 مساوى:

$$\frac{RV_1}{RV_1 + TH_1} \times 6$$

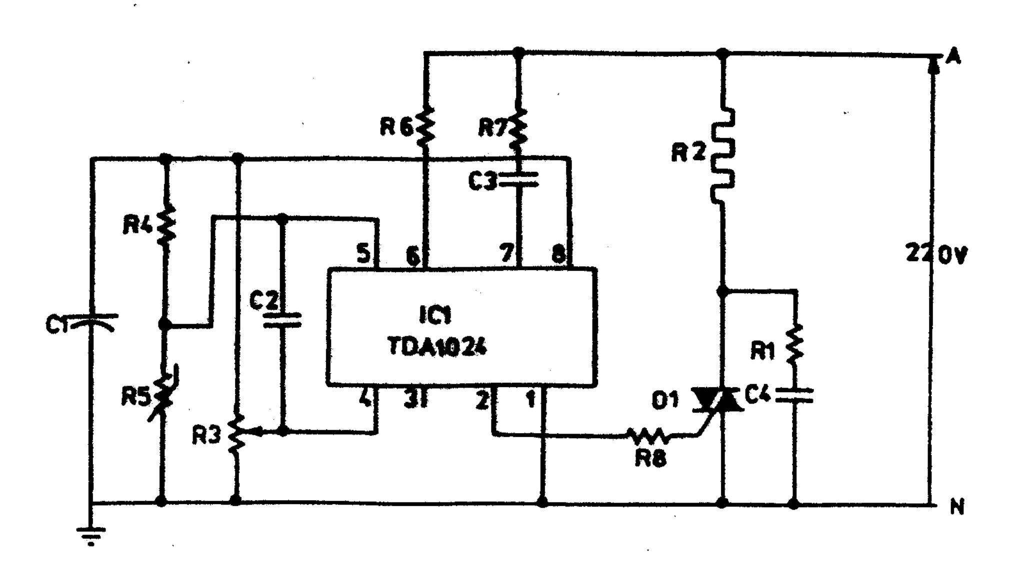
فعندما تكون درجة حرارة الغرفة أقل من درجة الحرارة المطلوبة فإن مقاومة TH_1 تكون كبيرة مقارنة بالمقاومة RV_1، وبالتالى يصبح جهد الرجل 13 أكبر من 3V +، أى أعلى من جهد الرجل 9 ، فتصل نبضة إشعال عند عبور موجة جهد المصدر بالصفر فيحدث إشعال للترياك عند زاوية إشعال صفر، وبالتالى يعمل السخان بالقدرة الكاملة.

وعندما تكون درجة حرارة الغرفة مساوية للدرجة المطلوبة فإن مقاومة TH_1 تكون صغيرة بالنسبة للمقاومة RV_1، وبالتالى يصبح جهد الرجل 13 أقل من 3V+ ، أى أقل من جهد الرجل 9، فينقطع وصول نبضات الإشعال للترياك Q_1، وينقطع وصول التيار الكهربى للسخان.

والجدير بالذكر أن R2, C3 يمنعا تحول الترياك Q1 لحالة الوصل عند حدوث قفزات سريعة لجهد المصدر المتردد، فهما يشكلان دائرة مصيدة Snubber .

الدائرة رقم 3 :

الشكل (٥ – ٣) يعرض أحد الدوائر العملية لتشغيل سخان كهربى مستخدماً الدائرة المتكاملة TDA1024 .



الشكل (٥ - ٣)

عناصر الدائرة :

R_1	مقاومة كربونية $100\ \Omega$.
R_2	سخان كهربى قدرته 1200W .
R_3	مجزئ جهد $22K\Omega$.
R_4	مقاومة كربونية $20K\ \Omega$.
R_5	مقاومة حرارية .
R_6	مقاومة كربونية $180\ \Omega$.
R_7	مقاومة كربونية $390\ \Omega$.
R_8	مقاومة كربونية $68\ \Omega$.
C_1	مكثف كيميائى سعته $100\mu F$ وجهده +15V .
C_2	مكثف بوليستير 100nF .
C_3	مكثف بولى كربونات 220nF وجهده 400V .
C_4	مكثف بولى كربونات 100nF وجهده 400V .

نظرية التشغيل :

تقوم الدائرة المتكاملة TDA1024 بالتحكم فى درجة حرارة السخان للحفاظ على درجة حرارته تتراوح ما بين 5:30C° ، وهى تعمل على وصل وفصل السخان لحظة عبور موجة الجهد بالصفر، وبالتالى تمنع تولد ترددات الراديو التى تؤثر على الأجهزة الالكترونية المجاورة.

ويقوم المكثف C_3 بتقليل استهلاك القدرة من المصدر الرئيسى.

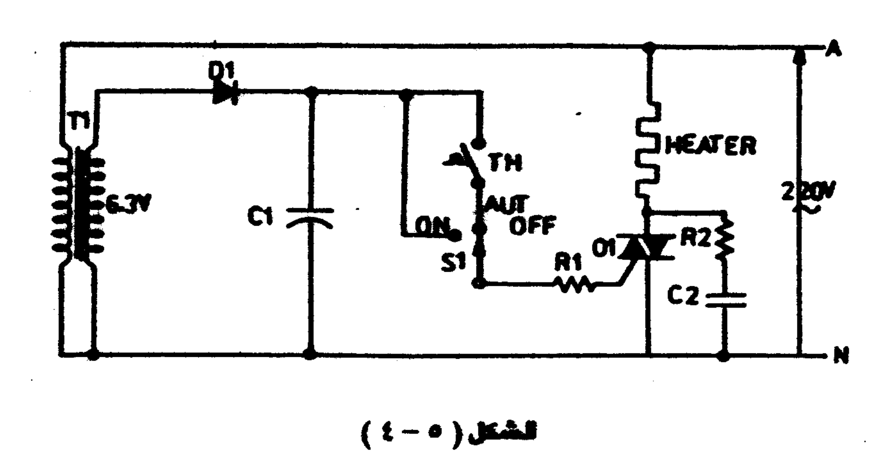
فعندما يكون جهد التحكم عند الرجل 5 اكبر من جهد الأساس عند الرجل 4 تقوم الدائرة المتكاملة TDA1024 بإرسال نبضة لإشعال الترياك لحظة عبور موجة المصدر المترددبالصفر، ولكن عندما يكون جهد التحكم مساوياً لجهد الاساس يتوقف خروج نبضات إشعال الترياك.

والجدير بالذكر أن جهد التحكم يتم التحكم فيه بواسطة المقاومة الحرارية R_5 المثبتة مع السخان، فكلما ازدادت درجة حرارة السخان انخفضت قيمة المقاومة الحرارية، وبالتالى يقل جهد التحكم والعكس بالعكس. وتعمل كل من R_4, R_5 كمجزئ جهد للجهد الذى تولده هذه الدائرة وهو +6.5V بين الرجل8 والرجل 1 .

ويتم التحكم في جهد الأساس بواسطة مجزىء الجهد R_3، وهو يعمل كمجزىء جهد للجهد الذى تولده هذه الدائرة المتكاملة بين الرجل 8 والرجل 1، والذى يساوى +6.5V .

الدائرة رقم 4 :

الشكل (٥ – ٤) يبين دائرة تحكم في سخان كهربي، حيث يتم التحكم في ترياك بتيار مستمر دائم بواسطة تورموستات حرارى مزود بريشة مفتوحة NO .



الشكل (٥ - ٤)

عناصر الدائرة :

R_1	مقاومة كربونية 68Ω ، وقدرتها 1W .
R_2	مقاومة كربونية 100 Ω .
C_1	مكثف كيميائي 1000µF وجهده 12V .
C_2	مكثف بوليستير 100nf .
D_1	ثنائي سليكوني طراز 1N4001 .
Q_1	ترياك يختار حسب قدرة السخان الكهربى .
D_1	محول خفض من 220/6.3V .
S_1	مفتاح دوار بثلاثة مواضع ON - Aut - Off .
TH	ثرموستات .

نظرية التشغيل :

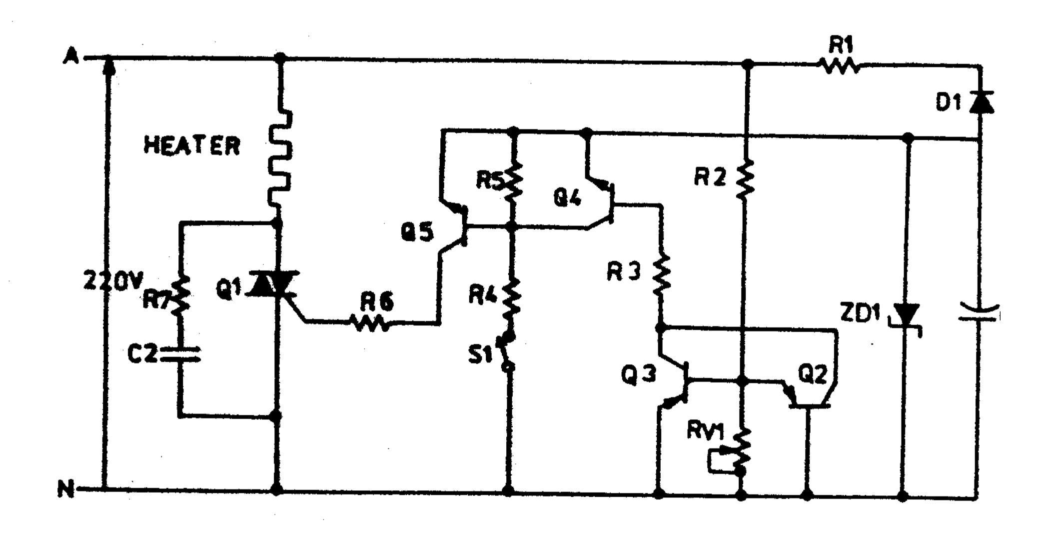
هناك ثلاث حالات للتشغيل لهذه الدائرة، وهى Off - On - Out . فعند وضع المفتاح S_1 على وضع Off يكون الترياك Q_1 في حالة قطع. وعند وضع المفتاح S_1 على وضع ON يكون الترياك في حالة وصل دائم لوصول جهد موجب مستمر لقاعدته. وعند وضع المفتاح S_1 على وضع Aut يكون الترياك في حالة وصل عندما تكون درجة الحرارة أقل من المستوى المطلوب ويكون الترياك في حالة قطع عندما

تكون درجة الحرارة عند المستوى المطلوب، ويتحكم في ذلك الثرموستات TH، حيث يغلق ريشته المفتوحة عندما تكون درجة الحرارة أقل من المستوى المطلوب ويفتح ريشته عند وصول درجة الحرارة للمستوى المطلوب.

والجدير بالذكر أن أى ثرموستات له خواص رجوعية بمعنى أن درجة حرارة الفصل تكون أكبر من درجة حرارة الوصل، فمثلاً: إذا كانت درجة حرارة الوصل 50°C وكانت درجة حرارة الفصل 70°C. فعند درجة حرارة الفصل يفصل الثرموستات ويتحول الترياك لحالة القطع إلي أن تصل درجة الحرارة إلى 50°C فتغلق ريشة الثرموستات ويتحول الترياك لحالة الوصل وهكذا. ويقال إن الثرموستات له رجوعية تساوى 20°C، وهو الفرق بين درجة حرارة الوصل والفصل ويكون ثابتا لبعض الأنواع ويكون قابل للمعايرة للبعض الآخر.

الدائرة رقم 5 :

الشكل (٥ – ٥) يعرض أحد الدوائر العملية لتشغيل سخان كهربى، باستخدام ترياك يتم إشعاله بدائرة RC بالقرب من لحظة عبور موجة التيار المتردد بالصفر للتقليل من RFI.



الشكل (٥ – ٥)

عناصر الدائرة :

R_1	مقاومة 6.8K Ω وقدرتها 5W .
R_2	مقاومة 47K Ω وقدرتها 2W .
R_3	مقاومة كربونية 22KΩ .
R_4	مقاومة كربونية 4.7KΩ.
R_5	مقاومة كربونية 10K Ω.
R_6	مقاومة كربونية 82 Ω.
R_7	مقاومة كربونية 100 Ω.
RV_1	مقاومة متغيرة 2.5 KΩ.
C_1	مكثف كيميائى 270μF وجهده 15V .
C_2	مكثف بولى كربونات 100nF وجهده 400V AC .
D_1	ثنائى سليكونى طراز 1N4004 .
ZD_1	ثنائى زينر جهده 10V .
Q_1	ترياك يختار حسب قدرة السخان.
Q_2, Q_3	ترانزستور PNP طراز 2N 3906 .
Q_4, Q_5	ترانزستور NPN طراز 2N 3904 .

نظرية التشغيل :

هذه الدائرة تسمح بإشعال الثايرستور بالقرب من نقطة عبور الصفر لموجة جهد المصدر المتردد، ويتم الحصول علي تيار بوابة الترياك من مصدر تيار مستمر جهده +10V من خلال العناصر التالية : R_1, D_1, ZD_1, C_1 .

ويتم الاستشعار بوصول موجة جهد المصدر للصفر بواسطة Q_2, Q_3, Q_4 . فبعد عبور موجة جهد المصدر المتردد الصفر جهة السالب أو الموجب يتحول Q_3 أو Q_2 لحالة الوصل بعد عدة ڤولتات قليلة تعتمد علي قيمة المقاومة RV_1، فيتحول الترانزستورQ_4 لحالة الوصل من خلال المقاومة R_3، وبالتالى يتحول الترانزستور Q_5 لحالة الفصل حيث إن Q_2 ، Q_3 يكونان في حالة وصل دائم إلا لحظة عبور موجة جهد

المصدر المتردد بالصفر، وفى هذه اللحظة يتحول Q_4 لحالة القطع، وتباعًا يتحول Q_5 لحالة الوصل، وذلك عندما يكون المفتاح S_1 مغلقا، فتصل نبضة إشعال سالبة للترياك Q_1، ويتحول الترياك لحالة الوصل، وتتكرر هذه العملية مرة كل نصف دورة.

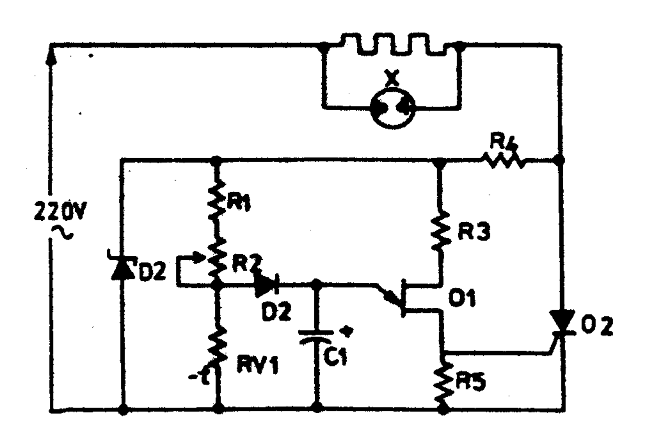
وعند فتح المفتاح S_1 وبمجرد عبور موجة الجهد بالصفر يتحول الترياك لحالة القطع بعد عدة ڤولتات قليلة تعتمد علي قيمة RV_1. وحيث إن عملية إشعال الترياك تتم بالقرب من نقطة عبور الجهد بالصفر، لذلك تصبح قيمة RFI (تداخل موجات الراديو) أقل ما يمكن.

٥ / ٣ - الدوائر العملية للتحكم في السخانات ذات القدرة المتغيرة :

سنتناول في هذه الفقرة مجموعة من الدوائر العملية للتحكم في السخانات الكهربية تبعًا للمتطلب الحرارى، علمًا بأن القدرة اللحظية للسخان تعتمد علي درجة الحرارة اللحظية للسخان.

الدائرة رقم 1 :

الشكل (٥ - ٦) يعرض تحكما تناسبيا في احد الأفران المنزلية Oven .



الشكل (٥ - ٦)

عناصر الدائرة :

RV_1	مقاومة حرارية.
R_1	مقاومة كربونية 330Ω .
R_2	مقاومة متغيرة 5KΩ.
R_3	مقاومة كربونية 1K Ω.
R_4	مقاومة 6.8K Ω وقدرتها 2W .
R_5	مقاومة كربونية 47Ω .
C_1	مكثف كيميائى سعته 0.02µF وجهده 25V .
D_1	ثنائى زينر 10V وقدرته 1W .
D_2	ثنائى سليكونى طراز 1N914 .
Q_1	ترانزستور أحادى الوصلة TIS43 .
Q_2	ثايرستور 2N4443 يثبت علي مشتت حرارة أبعاده (5x5 cm) .
X_1	لمبة نيون تعمل على جهد 220V .

نظرية التشغيل :

تعمل المقاومات RV_1 , R_2 , R_1 كمجزئ جهد لجهد ثنائى الزينر (+10V)، وخرج هذا المجزئ يصل لبوابة الترانزستور الاحادى الوصلة Q_1 من خلال الثنائى D_2 فيشحن المكثف C_1 خلال نصف الموجة الموجب، وعندما يصل الجهد علي أطراف المكثف لجهد إشعال Q_1 تصل نبضة إشعال للثايرستور Q_2 وبالتالى يصل التيار الكهربى للسخان، علماً بان الثايرستور Q_2 يتحول لحالة القطع في نصف الموجة السالب وتتكرر دورة الإشعال من جديد في نصف الموجة الموجب، وعندما تكون درجة حرارة الفرن منخفضة فإن قيمة المقاومة RV_1 ستكون كبيرة، الأمر الذى يعجل شحن المكثف C_1، وبالتالى يتقدم إشعال Q_1، ومن ثم يشتعل Q_2 عند زاوية إشعال صغيرة، فتزداد القدرة الكهربية التى تصل للسخان وترتفع درجة حرارة السخان.

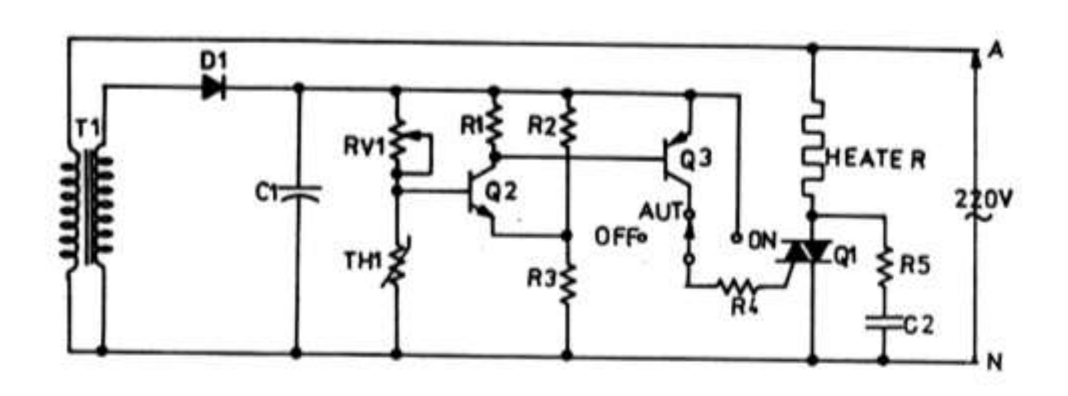
وعند اقتراب درجة حرارة الفرن من درجة الحرارة المطلوبة والمضبوطة بواسطة R_2 تقل قيمة المقاومة RV_1 فيتأخر شحن المكثف C_1، وبالتالى يتأخر إشعال Q_1، ومن ثم

يشتعل Q_2 عند زوية إشعال كبيرة فتقل القدرة الكهربية التى تصل للسخان.

والجدير بالذكر أن اللمبة النيون X_1 تضيء أثناء عمل الفرن.

الدائرة رقم 2 :

الشكل (٥ – ٧) يعرض دائرة تحكم عملية في سخان كهربى متغير القدرة، له ثلاثة أوضاع للتشغيل Off - Aut - ON .



الشكل (٥ – ٧)

عناصر الدائرة :

R_1 مقاومة كربونية 10KΩ .

R_2 مقاومة كربونية 1.2 KΩ .

R_3 مقاومة كربونية 1K Ω .

R_4 مقاومة كربونية 68 Ω قدرتها 1W .

R_5 مقاومة كربونية 100Ω .

RV_1 مقاومة متغيرة 10KΩ .

TH_1 مقاومة حرارية طراز VA1066S .

C_1 مكثف كيميائى سعته 1000µF وجهده 12V .

C_2 مكثف بولى كربونات سعته 100nF وجهده 400VAC .

D_1 ثنائى سليكونى 1N4001 .

Q_1 ترياك يختار حسب قدرة السخان.

Q_2 ترانزستور NPN طراز 2N3904 .

Q_3 ترانزستور PNP طراز 2N3906 .

T_1 محول خفض 200/6.3V .

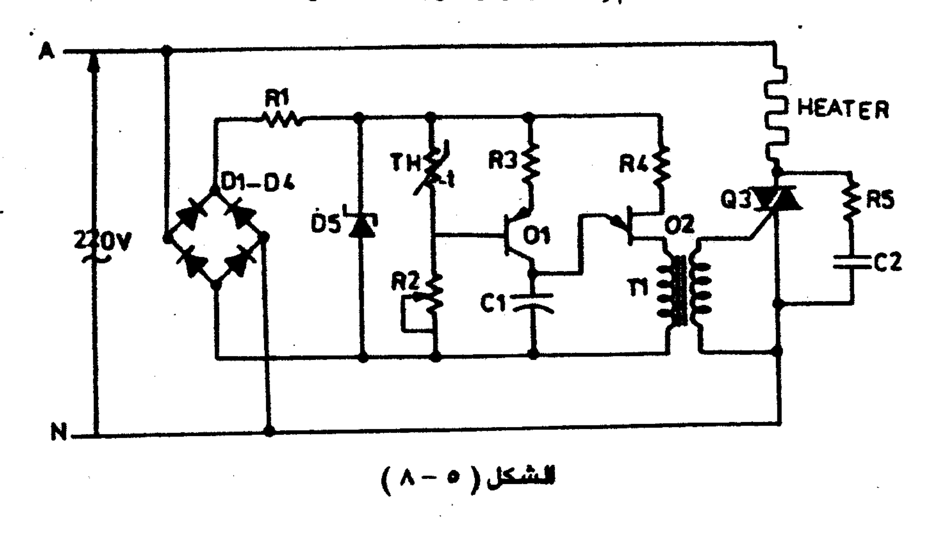
S_1 مفتاح دوار بثلاثة مواضع Off - Aut - ON .

نظرية التشغيل :

المقاومات R_3, R_2, TH_1, RV_1 تشكل ما يسمى بقنطرة حرارية، ويعمل Q_2 ككاشف اتزان للقنطرة، ويتم ضبط RV_1 بحيث يتحول Q_2 لحالة الوصل عند انخفاض درجة الحرارة عن المستوى المطلوب، حيث تزداد قيمة المقاومة الحرارية TH_1 ويزداد الجهد المتشكل على أطرافها، فيتحول Q_2 لحالة التشبع، ويصبح جهد مجمعه يقترب من الصفر، فيتحول Q_3 لحالة التشبع هو الآخر. وتمر إشارة إشعال للترياك عبر الترانزستور Q_3 عند زاوية إشعال قريبة من الصفر، فيتحول الترياك لحالة الوصل، وبالتالى يعمل السخان عند القدرة الكاملة. وعندما تكون درجة الحرارة مساوية للدرجة المطلوبة والمعايرة بواسطة RV_1 ، فإن الجهد على أطراف TH_1 يكاد يكون قادرا على تشغيل Q_2، وتباعًا يتحول Q_3 لحالة الوصل فتصل إشارة إشعال للترياك ويحدث إشعال للترياك عند زاوية إشعال كبيرة، حيث يعمل السخان عند نصف القدرة الكاملة لتعويض الفقد الناتج عن الإشعاع، وعند زيادة درجة الحرارة عن المستوى المطلوب يتحول Q_2 لحالة القطع، وتباعًا يتحول Q_3 والترياك لحالة القطع، وبهذه الطريقة نحصل على تحكم دقيق فى درجة الحرارة.

الدائرة رقم 3 :

الشكل (٥ – ٨) يبين الدائرة العملية للتحكم فى سخان كهربى، قدرته الكاملة 3KW، مستخدمًا ترياك يتم إشعاله بترانزستور احادى الوصلة.



الشكل (٥ – ٨)

عناصر الدائرة :

R_1 مقاومة 25KΩ وقدرتها 4W .

R_2 مقاومة كربونية 50KΩ.

R_3 مقاومة كربونية 10K Ω.

R_4 مقاومة كربونية 1K Ω.

R_5 مقاومة كربونية 100 Ω.

TH_1 مقاومة حرارية لها معامل حرارى سالب مقاومتها 2KΩ عند درجة حرارة 25C° .

C_1 مكثف كيميائى سعته 0.1µF وجهده 20V .

C_2 مكثف بولى كربونات سعته 100nF وجهده 400VAC .

$D_1 - D_4$ ثنائيات سليكونية طراز 1N4004 .

D_5 ثنائى زينر جهده 20V طراز 23 - MZ2500 .

Q_1 ترانزستور PNP طراز 2N3905 .

Q_2 ترانزستور أحادى الوصلة طراز 2N4870 .

Q_3 ترياك طراز BT139 تياره 15A .

T_1 محول نبضات Sprague 11Z12 .

سخان قدرته 3KW .

نظرية التشغيل :

يمكن إيجاز عمل هذه الدائرة فى النقاط التالية :

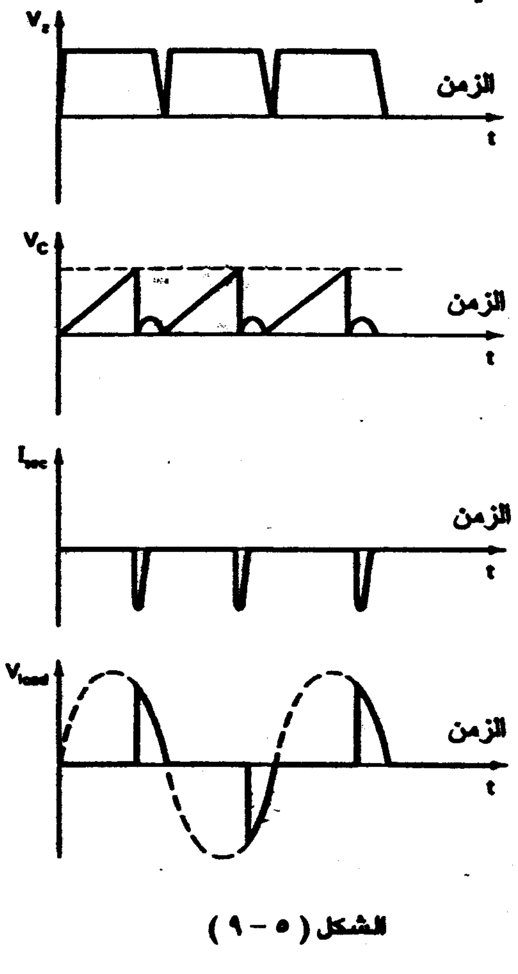
١ - يقـوم ثنائى الزينر D_5 بتحديد الحد الأقصى للموجة الموحدة (بواسطة القنطرة $D_1 - D_4$) ليصبح 20V.

٢ - عندما يصل الجهد على أطراف ثنائى الزينر 20V يبدأ المكثف C_1 فى الشحن حتى يصل الجهد على طرفيه للجهد اللازم للإشعال Q_2، حينئذ يشتعل Q_2 وتخرج نبضة على القاعدة B_1 لهذا الترانزستور.

٣ – تنتقل نبضة الجهد من الملف الابتدائى للملف الثانوى لمحول النبضات T_1 فيشتعل الترياك Q_3، ومن ثم يمر تيار فى السخان فى الجزء المتبقى من دورة جهد الدخل المتردد.



والشكل (٥ – ٩) يعرض الموجات التالية :



الشكل (٥ – ٩)

– موجة الجهد V_Z على أطراف ثنائى الزينر.

– موجة الجهد V_C على أطراف المكثف C_1.

– موجة التيار على الجانب الثانوى للمحول I_{sec} وهى معكوس موجة التيار على القاعدة B_1 .

– موجة الجهد على أطراف السخان V_L .

ويمكن التحكم فى درجة حرارة السخان بواسطة المقاومة R_2.

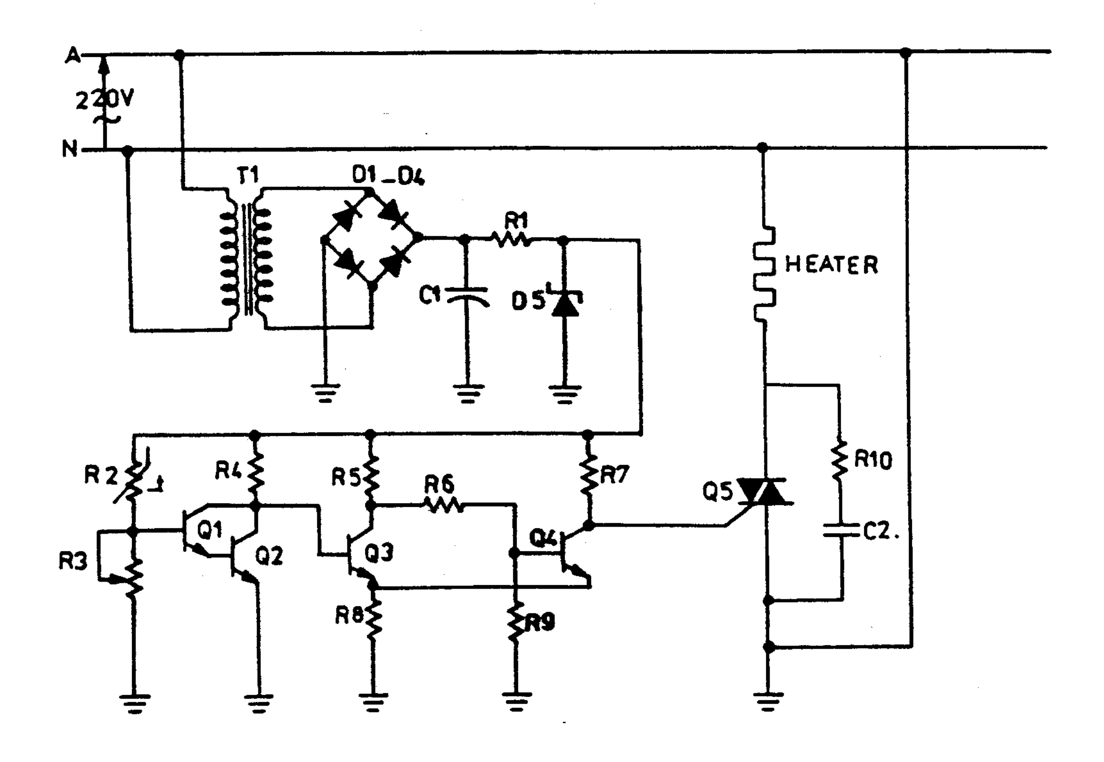
والجدير بالذكر أن زاوية إشعال الترياك تختلف باختلاف درجة حرارة السخان، فكلما كانت درجة حرارة السخان منخفضة عند الحد المطلوب أصبحت قيمة المقاومة الحرارية TH_1 عالية، وبالتالى يصبح جهد قاعدة Q_1 يقترب من الصفر فيتحول Q_1 وهذا يؤدى لتقليل زمن شحن المكثف C_1 ، وبالتالى يزداد تردد المذبذب المتراخى فيشتعل الترياك مبكراً وتصبح قدرة السخان تقترب من القدرة الكاملة. وعند ارتفاع درجة حرارة السخان لتصبح قريبة من الحرارة المطلوبة فإن مقاومة المقاومة الحرارية TH_1 ستصبح منخفضة، وبالتالى

يصبح جهد قاعدة Q_1 مرتفعا، فيتحول الترانزستور Q_1 لحالة الوصل الغير كامل ويمر تيار باعث صغير فى Q_1، وهذا يؤدى لزيادة زمن شحن المكثف C_1 فيقل تردد المذبذب المتراخى المؤلف من الترانزستور Q_2 المقاومة R3 والترانزستور Q_1 والمكثف C_1 فيشتعل الترياك متأخراً وتصبح قدرة السخان منخفضة جداً.

وعندما تصبح درجة حرارة السخان أعلى من درجة الحرارة المطلوبة فإن قيمة المقاومة TH_1 تكون صغيرة، فيتحول Q_1 لحالة القطع الكامل نتيجة لاقتراب جهد قاعدة Q_1 من الجهد +24V، ويتوقف المذبذب المتراخى عن العمل، ويتحول الترياك Q_3 لحالة القطع وينقطع التيار الكهربى عن السخان، وتصبح قدرة السخان مساوية للصفر.

الدائرة رقم 4 :

الشكل (٥ – ١٠) يعرض دائرة لأحد الأفران المنزلية Cooker، بحيث إن درجة حرارة الفرن لاتتجاوز 0.0000033C° من درجة الحرارة المطلوبة.



الشكل (٥ – ١٠)

عناصر الدائرة :

R_1	مقاومة كربونية 68Ω .
R_2	مقاومة حرارية طراز K600A .
R_3	مقاومة كربونية 50KΩ.
R_4	مقاومة كربونية 27K Ω.
R_5, R_6, R_9	مقاومة كربونية 2.2K Ω.
R_7	مقاومة كربونية 150 Ω وقدرتها 1W .
R_8	مقاومة كربونية 10 Ω.
R_{10}	مقاومة كربونية 100 Ω.
C_1	مكثف كيميائى سعته 220µF وجهده 25VDC .
C_2	مكثف بولى كربونات سعته 100nF وجهده 400VAC .
D_1 - D_4	أربعة ثنائيات سليكونية طراز 1N4002 .
D_5	ثنائى زينر 10V وقدرته 1W .
Q_1 - Q_3	ترانزستور NPN طراز 2N3904 .
Q_5	ترياك طراز TIC226M .
T_1	محول خفض220V/12.6V وسعته 4VA .
	فرن منزلى قدرته 1.5KW.

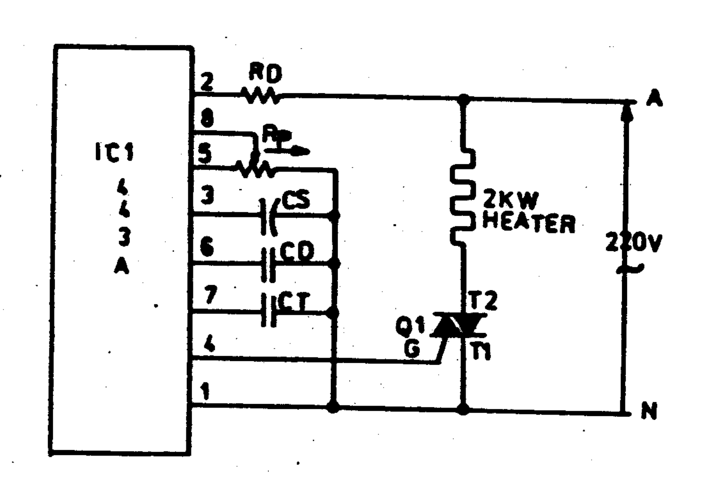
نظرية التشغيل :

تقوم القنطرة المؤلفة من الثنائيات D_1 - D_4 بتوحيد خرج المحول T_1، ويقوم المكثف C_1 بتنعيم خرج القنطرة، ويقوم ثنائى الزينر D_5 بتثبيت خرج القنطرة ليصبح مساوياً +10V، يمكن بواسطة المقاومة R_3 معايرة الفرن عند أى درجة حرارة. ففى البداية تكون درجة حرارة الفرن منخفضة، وبالتالى تكون قيمة المقاومة الحرارية R_2 عالية جداً، فيقترب جهد قاعدة الترانزستور Q_1 من الصفر فيصبح كل من Q_1 ، Q_2 فى حالة قطع، وبالتالى يقترب جهد مجمع Q_2 من 10V- فيتحول Q_3 لحالة الوصل، ويصبح

جهد مجمع Q_3 مقتربًا من الصفر، وينتقل هذا الجهد لقاعدة Q_4، وتباعًا يصبح Q_4 فى حالة قطع، وبالتالى يصبح جهد مجمع Q_4 يقترب من +10V فيشتعل الترياك Q_5 ويصل الجهد الكهربى لعنصر التسخين، وبمجرد وصول درجة حرارة الفرن لدرجة الحرارة المطلوبة تنخفض قيمة المقاومة R_2 بالحد الذى يجعل Q_1 ، Q_2 فى حالة الوصل، وتباعًا يتحول Q_3 لحالة القطع، وتباعًا يتحول Q_4 لحالة الوصل، وبالتالى يصبح جهد مجمع Q_4 يقترب من الصفر فيتحول الترياك Q_5 لحالة القطع وتتوقف عملية التسخين.

الدائرة رقم 5 :

الشكل (٥ - ١١) يبين دائرة تحكم فى سخان كهربى قدرته 2KW ، باستخدام الدائرة المتكاملة 443A .



الشكل (٥ - ١١)

عناصر الدائرة :

R_D مقاومة 10K Ω وقدرتها 11W .

R_P مجزئ جهد 100K Ω.

C_S مكثف كيميائى سعته 220μF وجهده 16V .

C_D مكثف بوليستير 1.5nF .

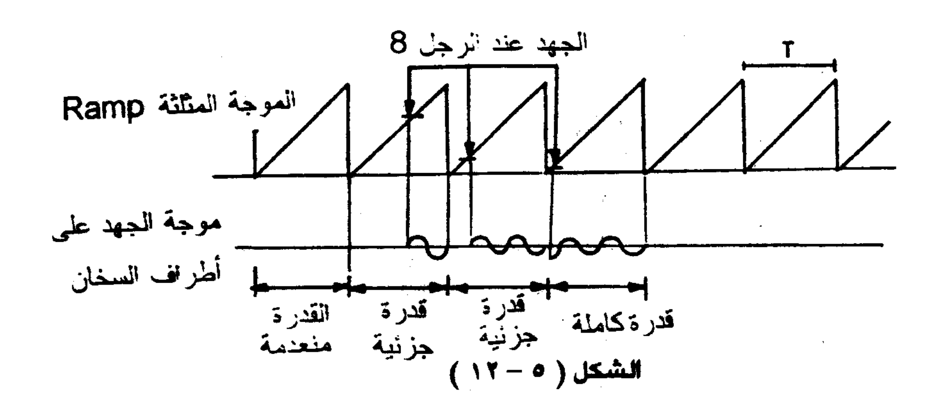
C_T مكثف بوليستير 470nF .

Q_1 تريك طراز BT139 .

IC_1 دائرة متكاملة طراز 443A .

نظرية التشغيل :

الشكل (٥ – ١٢) يبين شكل موجة Ramp عند الرجل 8 للدائرة المتكاملة IC_1، وموجة الجهد على طرفى السخان عند قدرات مختلفة.



الشكل (٥ – ١٢)

وعادة فإن زمن دورة Ramp يساوى 20S ، ويمكن تعينيها من المعادلة :

$$T = 2C_T R_P V_S$$

حيث إن :

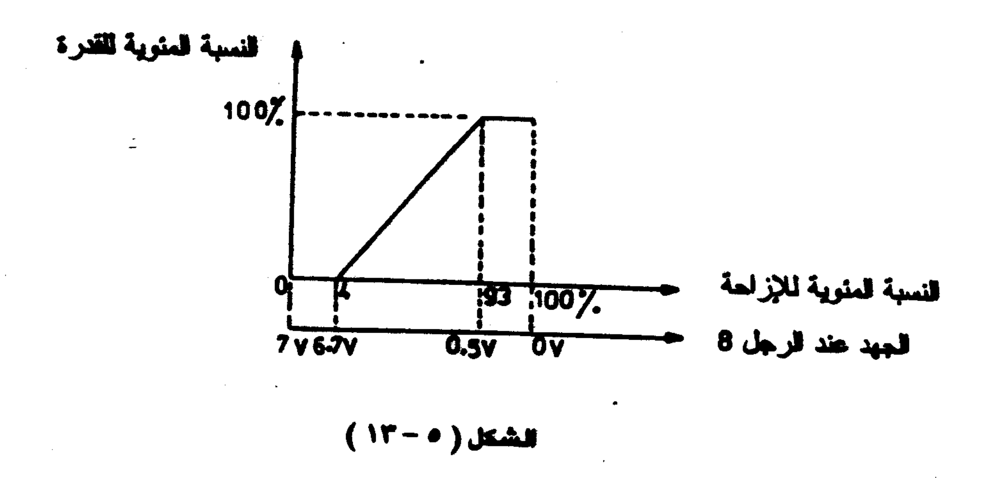
V_S هو جهد المصدر الفعال.

وبالتالى فإن :

T=20.68 Sec

والجدير بالذكر انه يمكن تغيير قدرة السخان بواسطة مجزئ الجهد R_P، فكلما تحرك الذراع المنزلق لمجزئ الجهد R_P فى اتجاه السهم ازدادت قدرة السخان، حيث تتغير قدرة السخان بتغير زمن وصول التيار الكهربى للسخان خلال دورة الموجة المثلثة Ramp كما هو مبين بالشكل (٥ – ١٢).

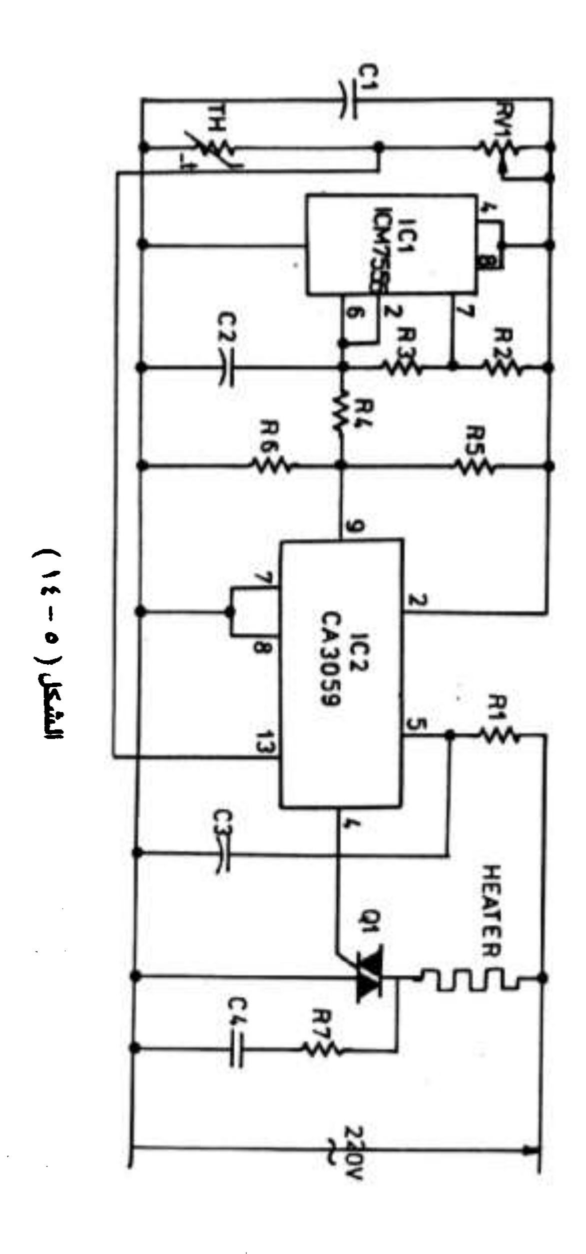
والشكل (٥ – ١٣) يبين العلاقة بين قدرة السخان وبين النسبة المئوية لإزاحة الذراع المنزلق للمجزئ RP، وكذلك جهد الدجل 8 للدائرة المتكاملة IC_1، ويلاحظ أن العلاقة خطية.



الشكل (٥ – ١٣)

الدائرة رقم 6 :

الشكل (٥ – ١٤) يعرض دائرة عملية للتحكم الدقيق فى سخان كهربى لغرفة، مستخدمًا الدوائر المتكاملة CA3059, ICM7555 .


C1
TH
RV1
IC1
ICM7555
C2
R3
R2
R4
R6
R5
IC2
CA3059
R1
C3
HEATER
Q1
C4
R7
220V

الشكل (٥ - ١٤)

عناصر الدائرة :

- R_1 مقاومة 22K Ω وقدرتها 5W .
- R_2 مقاومة كربونية 15KΩ .
- R_3 مقاومة كربونية 1KΩ .
- R_4 مقاومة كربونية 33KΩ .
- R_5 مقاومة كربونية 47KΩ .
- R_6 مقاومة كربونية 47K Ω.
- R_7 مقاومة كربونية 100 Ω.
- RV_1 مقاومة متغيرة 27KΩ .
- TH_1 مقاومة حرارية بمعامل حرارى سالب طراز VA1055S.
- C_1 مكثف كيميائى 100μF وجهده 15VDC .
- C_2 مكثف كيميائى 22μF وجهده 15VDC .
- C_3 مكثف بولى كربونات 10nF وجهده 400VAC .
- C_4 مكثف بولى كربونات 100nF وجهده 400VAC .
- Q_1 ترياك يختار حسب قدرة السخان .
- IC_1 دائرة متكاملة لمؤقت طراز ICM7555 .
- IC_2 دائرة متكاملة لإشعال الترياك عند زاوية إشعال صفر طراز CA3059 .

نظرية التشغيل :

تعمل المقاومتان TH_1 , RV_1 كمجزئ جهد لجهد مصدر القدرة المستمر الداخلى للدائرة المتكاملة IC_2 والذى يساوى 6V + والخارج بين الرجل 2 والرجل 7، وبالتالى فإن جهد الرجل 13 للدائرة المتكاملة IC_2 يعتمد على المقاومة الحرارية TH_1، فى حين أن الرجل 9 تتعرض لجهد على شكل أسنان منشار Ramp تردده يساوى تردد خرج المؤقت IC_1، والذى يعمل كمذبذب لا مستقر تردده يساوى:

$$F = \frac{1.44}{(R_2+2R_3)C_2} = 3.85HZ$$

أى أن زمن الدورة الواحدة يساوى :

$$T = \frac{1}{F} = 260ms$$

ويتم ضبط درجة الحرارة المطلوبة بواسطة المقاومة المتغيرة RV_1، وهناك أربع حالات للتشغيل وهى كما يلى :

١ - عندما يكون جهد الرجل 13 للدائرة المتكاملة IC_2 أكبر من جهد الرجل 9 ، وذلك عندما تكون درجة حرارة الغرفة منخفضة عن درجة الحرارة المطلوبة، فإن الترياك Q_1 سوف يشتعل بصفة مستديمة عند زاوية إشعال مقدارها الصفر، وتكون قدرة السخان مساوية لقدرته الكاملة.

٢ - عندما يكون جهد الرجل 13 أصغر من جهد الرجل 9 للدائرة المتكاملة IC_2، وذلك عندما تكون درجة حرارة الغرفة مرتفعة (أعلى من درجة الحرارة المطلوبة والمعايرة بواسطة RV_1)، فإن الترياك Q_1 سوف يكون فى حالة فصل، وتكون قدرة السخان الفعلية مساوية للصفر.

٣ - عندما يكون جهد الرجل 13 يقترب من جهد الرجل 9 للدائرة المتكاملة IC_2، وذلك عندما تكون درجة حرارة الغرفة مقتربة من درجة الحرارة المطلوبة، فإن الترياك سوف يتحول لحالة الوصل والفصل عند زوايا إشعال مساوية للصفر فى دورات متكررة كل 260ms، بحيث إن النسبة بين (زمن الفصل : زمن الوصل) تتناسب مع الفرق فى درجة حرارة الغرفة ودرجة الحرارة المطلوبة، فمثلاً: عندما يكون (زمن الفصل: زمن الوصل) يساوى (1:1) فإن قدرة السخان تساوى 50% من القدرة الكاملة، وعندما يكون (زمن الفصل : زمن الوصل) يساوى (3 : 1) فإن قدرة السخان تساوى 25% من القدرة الكاملة وهكذا.

٤ - عندما تصل درجة حرارة الغرفة لدرجة الحرارة المطلوبة فإن السخان لن يتحول لحالة الفصل، ولكن سيتحول لحالة الوصل والفصل فى دورات متكررة فى زمن دورى 260ms لتعويض الفقد الحرارى، وبهذه الطريقة فإن القدرة اللحظية للسخان تعتمد على المتطلب الحرارى للغرفة.

الباب السادس

دوائر التحكم فى اتجاه وسرعة

محركات التيار المستمر الصغيرة

دوائر التحكم فى اتجاه وسرعة محركات التيار المستمر الصغيرة

٦ / ١ - أنواع محركات التيار المستمر :

يمكن تقسيم محركات التيار المستمر تبعًا لتركيبها الداخلى إلى :

١- محركات بمجال ملفوف Wound Field .

٢- محركات بمجال مغناطيس دائم Permanent magnet . ولا تحتوى هذه المحركات على ملفات مجال، بل تحتوى على مغناطيس دائم لإنتاج المجال .

٣- محركات بعضو توحيد الكترونى ELectronic Commutator . وهذه المحركات لا تحتوى على فرش كربونية ولا عضو توحيد تقليدى .

وتعتبر محركات التيار المستمر ذات المجال الملفوف هى أقدم الأنواع وأكثرها انتشاراً، ويتراوح قدرتها ما بين كسر من الحصان إلى 8000 Hp .

ويمكن تقسيم محركات التيار المستمر من النوع الملفوف حسب طريقة توصيلها كما بالشكل (٦-١) إلى :

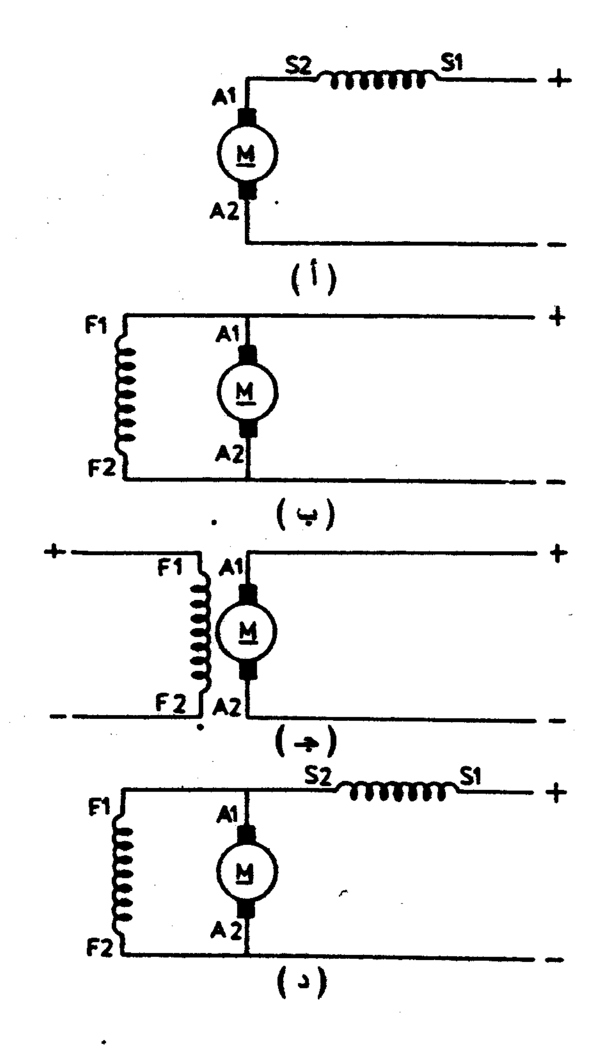
١- محرك توالى Series Motor (الشكل أ) .

٢- محرك توازى Shunt Motor (الشكل ب) .

٣- محرك بتغذية منفصلة Separately excited motor (الشكل جـ) .

٤- محرك مركب Compound motor (الشكل د) .

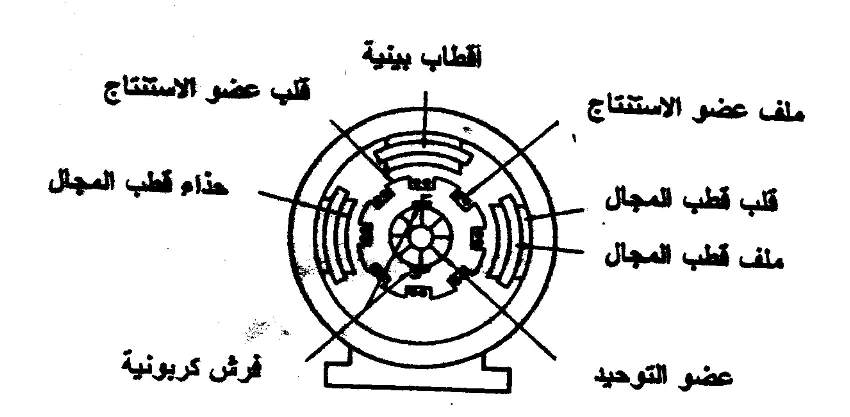
والجدير بالذكر ان A_1 , A_2 هى أطراف عضو الاستنتاج (العضو الدوار)، أما S_1 , S_2 فهى اطراف ملف مجال التوالى، والذى يثبت على الأقطاب الرئيسية فى العضو الثابت، أما F_1 , F_2 فهى أطراف مجال التوازى، والذى يثبت على الأقطاب الرئيسية فى العضو الثابت .



الشكل (٦-١)

٦ / ٢ - تركيب محركات التيار المستمر :

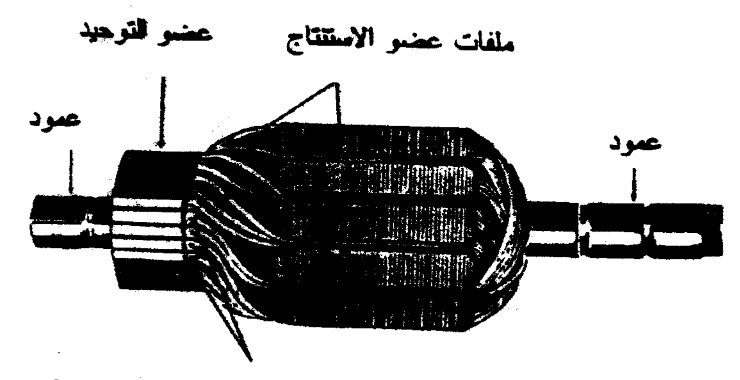
الشكل (٦-٢) يعرض قطاعًا أماميًا لمحرك تيار مستمر بقطبين Two Poles .



الشكل (٦-٢)

ويتركب المحرك من عضو ثابت STATOR يحمل الأقطاب المغناطيسية الرئيسية Main Poles (ملفوفة أو دائمة) والتى تنتج المجال المغناطيسى المطلوب، وكذلك الأقطاب البينية Inter Poles والتى تقلل من الشرر الذى يحدث عند الفرش الكربونية نتيجة لرد فعل عضو الاستنتاج Armature Reaction أثناء دوران المحرك، وبالتالى يتحسن أداء المحرك . وعضو دوار يحمل الملفات الكهربية ويسمى بعضو الاستنتاج Armature يتم تغذيته بالتيار الكهربى من خلال فرش كربونية brushes موضوعة فى حامل فرش مثبت على العضو الثابت وتلامس عضو توحيد Commu-tator متصل مع ملفات عضو الاستنتاج.

والشكل (٦-٣) يعرض المسقط الأفقى لعضو الاستنتاج.



الشكل (٦-٣)

والمعادلة التالية تبين العلاقة بين القوة الدافعة الكهربية العكسية E وسرعة المحرك N وتيار المجال I_F:

$$E = K_e I_F N \quad \rightarrow \quad 6.1$$

حيث إن:

K_e ثابت القوة الدافعة الكهربية، ويختلف من محرك لآخر.

أما عزم محرك التيار المستمر الملفوف فنحصل عليه من المعادلة التالية:

$$T = K_t I_F Ia \quad \rightarrow \quad 6.2$$

حيث إن:

K_t ثابت العزم ويختلف من محرك لآخر.

I_F تيار المجال.

I_a تيار عضو الاستنتاج.

والجدير بالذكر أنه يمكن عكس حركة محركات التيار المستمر بعكس أطراف المجال الرئيسي مع تثبيت وضع أطراف عضو الاستنتاج أو العكس.

مما سبق يتضح لنا ما يلي:

١- محركات التيار المستمر سرعتها تتناسب طرديًا مع جهد المصدر.

٢- عند تحميل محرك التيار المستمر فإن التيار المسحوب يتناسب طرديًا مع الحمل.

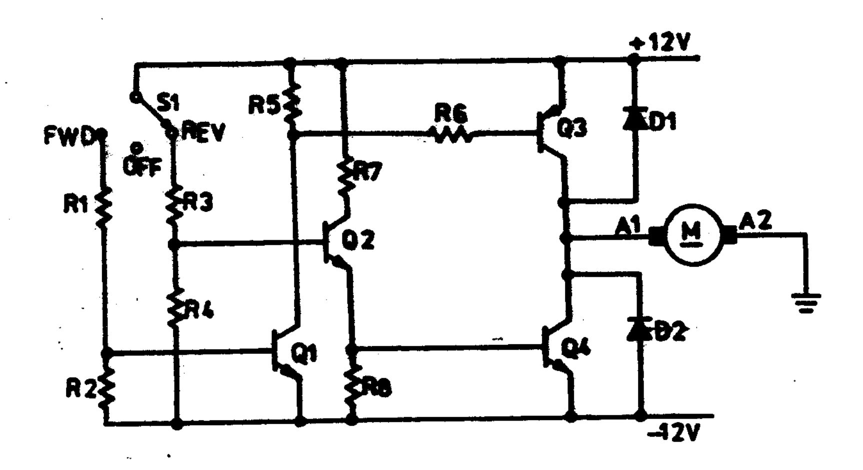
٣- يمكن عكس اتجاه الدوران بعكس أطراف عضو الاستنتاج مع تثبيت أطراف المجال الملفوف أو العكس. هذا بالنسبة للمحركات ذات المجال الملفوف أو بعكس أطراف عضو الاستنتاج فقط بالنسبة للمحركات ذات المغناطيس الدائم.

٦ / ٣ - الدوائر العملية للتحكم في اتجاه المحركات ذات المغناطيس الدائم:

الدائرة رقم ١:

الشكل (٦-٤) يعرض دائرة تحكم عملية في اتجاه دوران محرك تيار مستمر

بمغناطيس دائم يعمل من مصدر قدرة مزدوج جهده ($+12v,0v-12v$) .



الشكل (٦-٤)

عناصر الدائرة:

R_1 , R_3	مقاومة كربونية 2.7 KΩ.
R_2 , R_4 , R_5 , R_8	مقاومة كربونية 10KΩ .
R_6 , R_7	مقاومة كربونية 100Ω .
D_1 , D_2	ثنائيات سليكونية طراز 1N4001 .
Q_1 , Q_2	ترانزستور NPN طراز 2N3904 .
Q_3	ترانزستور PNP طراز MJE2955 .
Q_4	ترانزستور NPN طراز 2N3055 .
M	محرك تيار مستمر بمغناطيس دائم يعمل عند جهد 12V + وقدرته 150w .

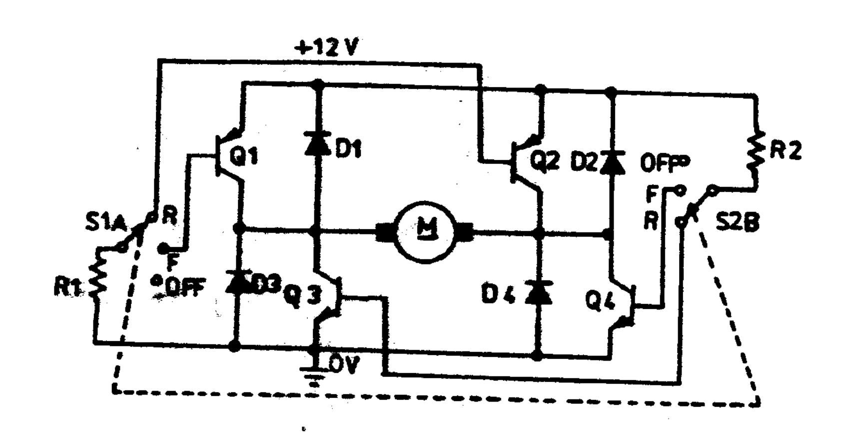
نظرية التشغيل:

عند وضع المفتاح S_1 على وضع FWD يصبح Q_1 فى حالة وصل، وتباعًا يصبح Q_3 فى حالة وصل فى حين يكون كل من Q_2, Q_4 فى حالة قطع، فيتصل الطرف A_1

للمحرك بالجهد +12V ويدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة. وعند وضع المفتاح S_1 على وضع المفتاح S_1 على وضع REV يصبح Q_2 فى حالة وصل، وتباعاً يصبح Q_4 فى حالة وصل، فى حين يكون كل من Q_3 ، Q_1 فى حالة قطع، فيتصل الطرف A_1 للمحرك بالجهد -12v ويدور المحرك فى عكس اتجاه عقارب الساعة. وعند وضع المفتاح S_1 على وضع OFF يكون كل من Q_1-Q_4 فى حالة قطع، وبالتالى يكون فرق الجهد على أطراف المحرك صفراً، ويكون المحرك فى حالة توقف. ويقوم كل من D_2, D_1 بحماية الترانزستورات Q_4 ، Q_3 من القوة الدافعة الكهربية العكسية المتولدة من المحرك.

الدائرة رقم 2 :

الشكل (٦-٥) يعرض دائرة تحكم عملية فى اتجاه دوران محرك تيار مستمر بمغناطيس دائم يعمل من مصدر قدرة جهده +12V.



الشكل (٦-٥)

عناصر الدائرة :

R_1 ، R_2 مقاومة كربونية 180Ω.

D_1 ، D_4 ثنائيات سليكونية طراز 1N4001.

Q_1 , Q_2	ترانزستور PNP طراز MJE2955 .
Q_3 , Q_4	ترانزستور NPN طراز 2N3055 .
S_1	مفتاح قطبين بثلاث سكك .
M	محرك تيار مستمر يعمل عند جهد 12V+ وقدرته أصغر من أو تساوى 150W .

نظرية التشغيل:

عند وضع المفتاح S_1 على وضع R يتحول Q_2 لحالة الوصل، وأيضًا يتحول Q_3 لحالة الوصل، فيتصل الطرف A_2 بالجهد 12V+، فى حين يتصل الطرف A_1 بالجهد 0V، ويدور المحرك فى عكس اتجاه عقارب الساعة.

وعند وضع المفتاح S_1 على وضع F يتحول Q_1 لحالة الوصل، وأيضًا يتحول Q_4 لحالة الوصل، فيتصل الطرف A_1 بالجهد 12V+ والطرف A_2 بالجهد 0V، ويدور المحرك فى عكس اتجاه عقارب الساعة.

وعند وضع المفتاح S_1 على وضع OFF يصبح كل من Q_1-Q_4 فى حالة قطع، وينقطع مرور التيار الكهربى فى المحرك ويتوقف المحرك.

والجدير بالذكر ان D_1-D_4 تعمل على حماية الترانزستور Q_1-Q_4 من القوة الدافعة الكهربية المتولدة من المحرك.

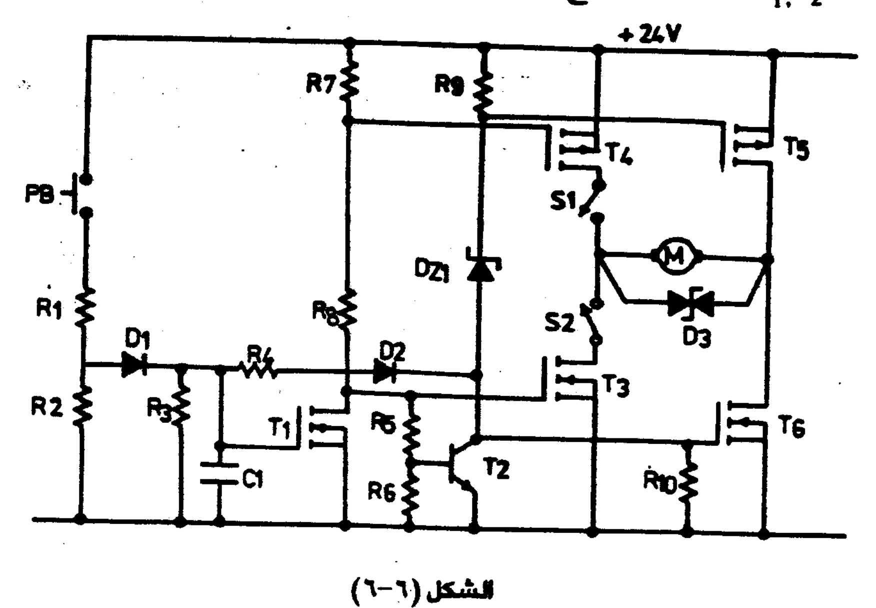
الدائرة رقم 3:

الشكل (٦-٦) يعرض دائرة تحكم في محرك تيار مستمر لفتح وغلق بوابة أتوماتيكية.

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية 470Ω .
R_2	مقاومة كربونية 470Ω .
R_3	مقاومة كربونية 10MΩ .
R_4	مقاومة كربونية 1KΩ .

R_5	مقاومة كربونية 27KΩ.
R_6	مقاومة كربونية 18KΩ.
R_7	مقاومة كربونية 12KΩ.
R_8	مقاومة كربونية 10KΩ.
R_9	مقاومة كربونية 2.2KΩ.
R_{10}	مقاومة كربونية 22KΩ.
C_1	مكثف بوليستير سعته 1μF.
D_1, D_2	ثنائيات طراز 1N914.
DZ_1	ثنائي زينر جهده 12V.
D_3	تايركتور طراز ZZ36.
T_1	ترانزستور VMOS بقناة N طراز BS170.
T_2	ترانزستور NPN طراز BC107.
T_3, T_6	ترانزستورات VMOS بقناة N طراز BD522.
$T_4 T_5$	ترانزستورات VMOS بقناة P طراز BD512.
PB	ضاغط بريشة مفتوحة NO.
S_1, S_2	مفاتيح نهايات مشوار بريش مفتوحة.



الشكل (٦-٦)

نظرية التشغيل:

فى الوضع الطبيعى تكون بوابة الجراج مغلقة، ويكون المفتاح S_1 مغلقًا وعند الضغط على الضاغط PB يشحن المكثف C_1 فيتحول T_1 لحالة الوصل، فيصبح جهد مصرف Drain الترانزستور T_1 يقترب من الصفر، وينتقل هذا الجهد لقاعدة T_2 ولبوابة T_3, T_4، فيتحول T_2 لحالة القطع ويتحول T_3 لحالة القطع أيضًا، فى حين يتحول T_4 لحالة الوصل لأنه بقناة p . ونتيجة لتحول T_2 لحالة القطع يصبح جهد مجمعه يقترب من +12V، فينتقل هذا الجهد لبوابة T_6 ويتحول T_6 لحالة الوصل، وبالتالى يدور المحرك ليفتح البوابة، وعند تمام فتح البوابة يغلق المفتاح S_2 ويفتح المفتاح S_1.

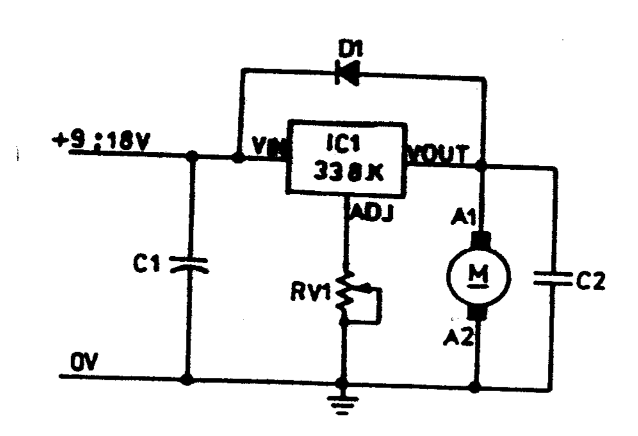
وفى نفس الوقت يفرغ المكثف C_1 شحنته فى بوابة T_1 وكذلك فى المقاومة R_3، وبعد مرور 20S يتحول T_1 لحالة القطع لأن الجهد على المكثف C_1 سيصبح غير كاف لتحويله لحالة الوصل، حينئذ ينتقل جهد مجمع T_1 والذى يساوى +24V لقاعدة T_2 وبوابة T_3, T_4 فيتحول T_2 لحالة الوصل وكذلك T_3 لحالة الوصل، ونتيجة لتحول T_2 لحالة الوصل يصبح جهد مجمعه يقترب من الصفر وينتقل هذا الجهد لبوابة T_5, T_6 فيتحول T_5 لحالة الوصل، وينعكس اتجاه دوران المحرك ليغلق البوابة مرة أخرى.

والجدير بالذكر أن زمن فتح أو غلق البوابة يكون أقل من 20S، كما أن الثايركتور D_3 يقوم بحماية المحرك من زيادة الجهد، حيث يتحول لحالة الوصل عند ارتفاع الجهد عن الجهد المقنن، وبذلك يحافظ على الجهد على أطراف المحرك عند القيمة المقننة.

٦ / ٤ - الدوائر العملية للتحكم فى سرعة محركات التيار المستمر ذات المغناطيس الدائم:

الدائرة رقم 1 :

الشكل (٦-٧) يعرض دائرة منظم سرعة محرك تيار مستمر بمغناطيس دائم قدرته 30W، ويعمل عند جهد 10v .



الشكل (٦-٧)

عناصر الدائرة:

IC_1	دائرة متكاملة لمنظم جهد ثلاثى الأرجل طراز338K .
R_1	مقاومة كربونية 220Ω .
RV_1	مقاومة متغيرة 2.2KΩ .
$C_1.C_2$	مكثفات بوليستير100nF .
D_1	ثنائى سليكونى طراز 1N5400 .
M	محرك تيار مستمر بمغناطيس دائم يعمل عند جهد 10v وتياره 3A .

نظرية التشغيل:

تتميز الدائرة المتكاملة 338K بان جهد خرجها يساوى:

$$Vout = 1.25 \ (1+ \frac{RV_1}{R1})$$

$$= 1.25 : 13.75 \text{ v}$$

أى أنه بتغيير قيمة المقاومة RV_1 الموصلة برجل الضبط ADJ فإن قيمة الجهد

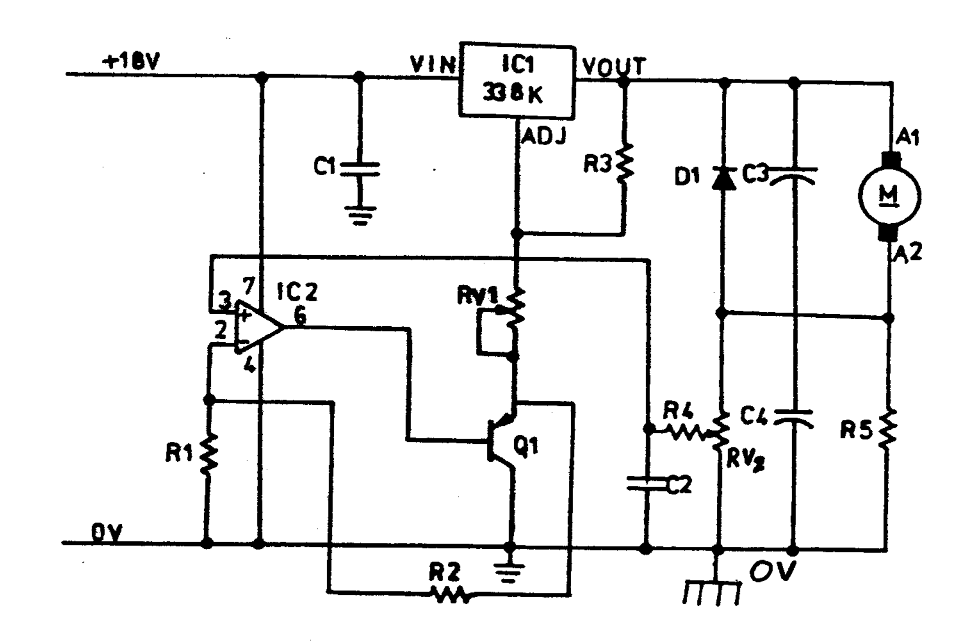
الخارج منها يتغير وبالتالى تتغير سرعة المحرك M.

والجدير بالذكر أن هذه الدائرة المتكاملة مزودة بحماية ضد القصر وزيادة الحمل عند مخرجها.

ويقوم D_1 بحماية هذه الدائرة المتكاملة من القوة الدافعة الكهربية المتولدة من المحرك.

الدائرة رقم 2 :

الشكل (٦ – ٨) يبين دائرة عملية للتحكم فى سرعة محرك دريل DriLL صغير يعمل عند جهد +12v، ويستخدم فى ثقب الدوائر المطبوعة Printed Boards.



الشكل (٦–٨)

عناصر الدائرة:

R_1, R_4	مقاومة كربونية 10KΩ .
R_2	مقاومة كربونية 47Ω .
R_3	مقاومة كربونية 470Ω .
R_5	مقاومة 1Ω وقدرتها 3W .
RV_1	مقاومة متغيرة 4.7KΩ .
RV_2	مجزئ جهد 1KΩ .
C_1	مكثف بوليستير سعته 100nF .
C_2	مكثف بوليستير سعته 470nF .
C_3, C_4	مكثفات كيميائية 1μF وجهدها 16v .
Q_1	ترانزستور PNP طراز 2N3906 .
IC_1	دائرة متكاملة لمنظم جهد طراز 338K .
IC_2	دائرة متكاملة لمكبر عمليات طراز 3140 .

نظرية التشغيل:

بواسطة المقاومة المتغيرة RV_1 يمكن التحكم فى خرج الدائرة المتكاملة IC_1، ويمر التيار المار فى المحرك فى المقاومة R_5، وتنتقل إشارة الجهد المعبرة عن التيار (المشكلة على أطراف المقاومة R_5) من خلال مجزئ الجهد RV_2 للمدخل الغير عاكس + لمكبر العمليات IC_2، ويقوم هذا المكبر بمقارنة هذا الجهد بجهد المدخل العاكس – له والذى يساوى جهد أطراف المقاومة R_1، وبالتالى يتغير خرج هذا المقارن تبعًا للحمل فيتغير جهد قاعدة الترانزستور Q_1، وتباعًا يتغير فرق الجهد بين باعث ومجمع الترانزستور Q_1، وتباعًا يتغير جهد رجل الضبط ADJ للدائرة المتكاملة IC_1 بما يتناسب مع الحمل.

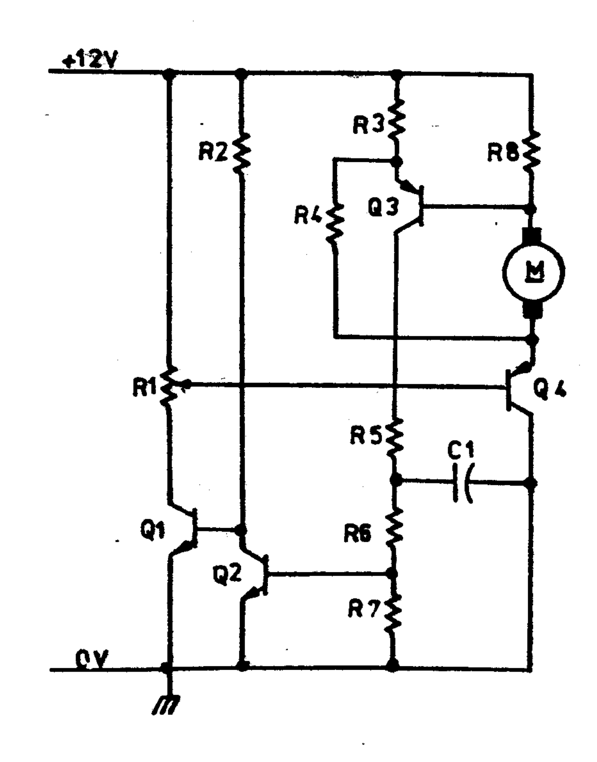
فكلما ازداد الحمل ازداد تيار المحرك وازداد خرج الدائرة المتكاملة IC_1، وبالتالى تزداد سرعة المحرك والعكس بالعكس.

ويمكن ضبط هذه الدائرة بالطريقة التالية:

يتم ضبط المقاومة RV_1 عند 1/3 قيمتها، ثم بعد ذلك يدار المحرك بحمل صغير مع تغيير RV_2 بحيث تكون السرعة عند الحمل تساوى السرعة عند اللاحمل.

الدائرة رقم 3:

الشكل (٦-٩) يعرض دائرة التحكم فى سرعة محرك تيار مستمر بمغناطيس دائم، مزودة بوسيلة لتحديد تيار المحرك.



الشكل (٦-٩)

عناصر الدائرة:

R_1	مجزئ جهد 5Ω.
R_2	مقاومة كربونية 82Ω وقدرتها 2W.
R_3	مقاومة كربونية 8.2Ω.
R_4	مقاومة كربونية 110Ω.
R_5, R_6, R_7	مقاومات كربونية 470Ω.
R_8	مقاومة كربونية 0.07Ω.
C_1	مكثف كيميائي سعته $50\mu F$ وجهده 15v.
Q_1	ترانزستور NPN طراز MPSA05.
Q_2	ترانزستور NPN طراز MPSA05.
Q_3	ترانزستور PNP طراز MPSA70.
Q_4	ترانزستور PNP طراز 2N4276.
M	محرك تيار مستمر بمغناطيس دائم تياره الأقصى 20A.

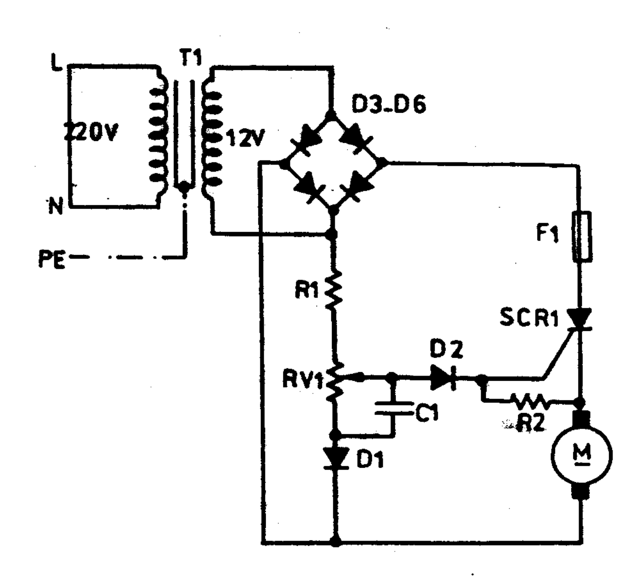
نظرية التشغيل:

فى الوضع الطبيعى يكون الترانزستور Q_1 فى حالة وصل، وبواسطة مجزئ الجهد R_1 يمكن التحكم فى قاعدة الترانزستور Q_4، فكلما انخفض جهد قاعدة الترانزستور Q_4 زادت موصليته (انخفض فرق الجهد على أطراف الترانزستور) فتزداد بذلك سرعة المحرك لزيادة فرق الجهد على أطرافه والعكس بالعكس.

وعند زيادة التيار المار فى المحرك لزيادة الحمل عليه يزداد فرق الجهد على أطراف المقاومة R_8، ويصبح قادراً على تحويل الترانزستور Q_3 لحالة الوصل فيزداد بذلك جهد قاعدة Q_2، وبالتالى يتحول Q_2 لحالة الوصل فيصبح جهد قاعدة Q_1 مساوياً الصفر، فيتحول Q_1 لحالة القطع ويصبح جهد قاعدة الترانزستور Q_4 مساوياً +12v، فيتحول هذا الترانزستور لحالة القطع ويتوقف مرور التيار الكهربى فى المحرك ويتوقف.

الدائرة رقم 4:

الشكل (٦-١٠) يعرض دائرة تحكم فى سرعة محرك تيار مستمر بمغناطيس دائم لموديول قطار (لعبة أطفال).



الشكل (٦-١٠)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية 390Ω .
R_2	مقاومة كربونية 2.7kΩ.
RV_1	مقاومة متغيرة 200Ω.
C_1	مكثف بوليستير 100µF وجهده12v .
D_1 , D_2	ثنائى طراز1N914 .
D_3 , D_6	ثنائيات سليكونية طراز1N5400 .
SCR_1	ثيرستور تيارة 3A وجهده50v .
T_1	محول خفض 220/12v .
F_1	مصهر 2A.

نظرية التشغيل:

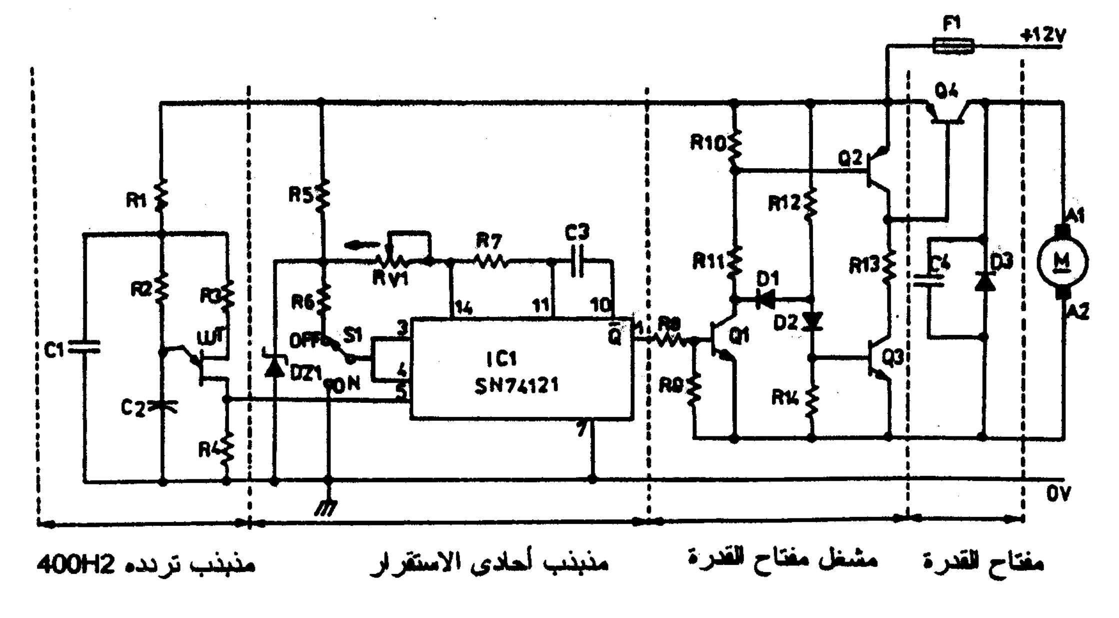
تعمل الدائرة المؤلفة من R_1، Rv_1، C_1، بتوليد موجة جهد على شكل أسنان منشار Ramp محملة على الجهد المستمر المضبوط بواسطة المقاومة RV_1، وهذا الجهد يظهر على الذراع المنزلق لمجزئ الجهد RV_1، ويقارن هذا الجهد بالقوة الدافعة الكهربية العكسية للمحرك. فعندما يزداد الحمل على المحرك تقل القوة الدافعة الكهربية العكسية (لانها تتناسب طرديًا مع سرعة المحرك)، والتى تنتقل لمهبط الثايرستور SCR_1 وبالتالى يزداد فرق الجهد بين بوابة ومهبط الثايرستور، فينتج عن ذلك إشعال متقدم للثايرستور فيزداد الجهد المحصل على أطراف المحرك وتزداد سرعته.

وعندما يقل الحمل على المحرك تزداد سرعة المحرك فى بادئ الأمر فتزداد القوة الدافعة الكهربية العكسية للمحرك، والتى تنتقل لمهبط الثايرستور SCR_1، وبالتالى يقل فرق الجهد بين بوابة ومهبط الثايرستور فينتج عن ذلك إشعال متأخر للثايرستور، ويقل الجهد المحصل على أطراف المحرك وتقل سرعة المحرك وبذلك نحصل على تنظيم لسرعة المحرك.

والجدير بالذكر ان D_1 تعمل على وصول جهد إشعال فقط عندما يكون مصعد الثايرستور A موجبًا ومهبطه K سالبًا، فى حين ان D_2 يعمل على وصول نبضة إشعال موجبة لبوابة الثايرستور، تساعد على إتمام الإشعال بنجاح؛ وذلك لان الثنائى D_2 لن يتحول لحالة الوصل إلا عندما يزداد فرق الجهد بين طرفين عن 0.7V.

الدائرة رقم 5:

الشكل (٦-١١) يعرض دائرة تحكم فى سرعة محرك تيار مستمر بمغناطيس دائم، يعمل عند جهد +12V وتياره المقنن 4A.



+12V
F1
Q4
Q2
Q3
Q1
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R13
R14
RV1
C1
C2
C3
C4
D1
D2
D3
DZ1
UJT
S1
OFF
ON
IC1
SN74121
3
4
5
14
11
10
7
1
Q̄
M
A1
A2
0V
400H2 مذبذب ترده
مذبذب أحادى الاستقرار
مشغل مفتاح القدرة
مفتاح القدرة

الشكل (٦ – ١١)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية 1KΩ .
R_2	مقاومة كربونية 100KΩ .
R_3	مقاومة كربونية 220Ω .
R_4	مقاومة كربونية 82Ω .
R_5	مقاومة كربونية 220Ω .
R_6	مقاومة كربونية 1KΩ .
R_7	مقاومة كربونية 2.2KΩ .
R_8	مقاومة كربونية 2.2KΩ .
R_9	مقاومة كربونية 4.7KΩ .
R_{10}	مقاومة كربونية 1KΩ .
R_{11}	مقاومة كربونية 3.9KΩ .
R_{12}	مقاومة كربونية 820Ω وقدرتها 1W .
R_{13}	مقاومة 56Ω وقدرتها 5W .
R_{14}	مقاومة كربونية 4.7KΩ .
RV_1	مقاومة متغيرة 30KΩ .
C_1	مكثف كيميائى سعته 10μF وجهده 16v .
C_2	مكثف بوليستير 22nF .
C_3	مكثف بوليستير 0.1μF .
C_4	مكثف بوليستير 0.1μF .
DZ_1	ثنائي زنير جهده 5.1V وقدرته 1W .
D_2	ثنائى سليكونى 1N914 .
D_3	ثنائى سليكونى تياره 6A .
UJT	ترانزستور أحادى الوصلة طراز T1543 .
Q_1	ترانزستور NPN طراز BC108 .
Q_2	ترانزستور PNP طراز BFX88 .
Q_3	ترانزستور NPN طراز BFX85 .

Q_4 ترانزستور PNP طراز TIP34A.

IC_1 دائرة متكاملة طراز 74121.

S_1 مفتاح قطب واحد سكتان.

F_1 مصهر حماية تياره 5A.

نظرية التشغيل:

يعمل المذبذب اللا مستقر المؤلف من UJT بتردد يساوى:

$$F = \frac{1}{R_2C_2} = 450HZ$$

وتقوم الدائرة المتكاملة IC_1 بإخراج نبضات من المخرج 1 عند الحافة الهابطة نبضات الداخلة على الرجل 5 زمنها يساوى:

$$t = 0.693\,(RV_1 + R_7)\,C_3$$

$$= 2.2ms : 0.14ms$$

ويتم التحكم فى هذا الزمن بواسطة المقاومة المتغيرة RV_1.

وعند وضع المفتاح S_1 على وضع OFF فإن جهد الارجل 4 و3 سيكون عاليًا +5V)، وبالتالى يصبح خرج المذبذب الاحادى الاستقرار (74121) عاليًا +5V)، ومن ثم يصبح جهد قاعدة الترانزستور Q_1 عاليًا فيصبح Q_1 فى حالة وصل، باعًا يقترب جهد مجمعة من الصفر، وينتقل هذا الجهد لقاعدة كل من Q_3، Q_2 حول Q_2 لحالة الوصل ويتحول Q_3 لحالة القطع، وبالتالى يصبح جهد مجمع Q_2 ترب من +12V فيتحول Q_4 لحالة القطع وينقطع التيار الكهربى عن المحرك يتوقف.

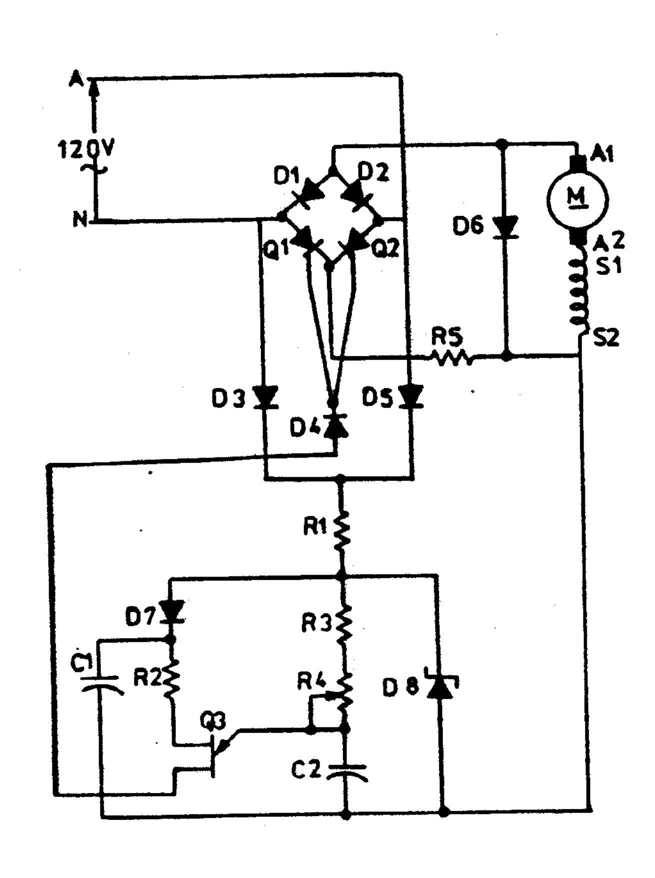
وعند وضع المفتاح S_1 على وضع ON فإن جهد الأرجل 4 و3 سيكون منخفضًا OV)، وبالتالى يعمل المذبذب الاحادى الاستقرار 74121 فتخرج نبضة، منخفضة ضها يعتمد على قيمة المقاومة RV_1، وعندما يكون خرج المذبذب الأحادى ستقرار منخفضًا يتحول Q_1 لحالة القطع فيصبح جهد مجمعة يقترب من +12V،

وبالتالى يتحول Q_3 لحالة الوصل ويتحول Q_2 لحالة القطع، ويصبح جهد مجمع Q_2، Q_3 مقترباً من الصفر فيتحول Q_4 لحالة الوصل، ويصل التيار الكهربى للمحرك ويدور المحرك . ويلاحظ أنه كلما ازداد زمن النبضة الخارجة من المذبذب الأحادى الاستقرار 74121 زادت سرعة المحرك والعكس بالعكس.

٦ / ٥ - الدوائر العملية للتحكم فى اتجاه وسرعة دوران المحركات ذات المجال الملفوف :

الدائرة رقم 1 :

الشكل (٦-١٢) يبين دائرة تحكم عملية فى سرعة محرك تيار مستمر نوع التوالى.



الشكل (٦-١٢)

R_1	مقاومة كربونية 15KΩ وقدرتها 2W.
R_2	مقاومة كربونية 200Ω.
R_3	مقاومة كربونية 3.3KΩ.
R_4	مقاومة متغيرة 25KΩ.
R_5	انظر الشرح.
C_1	مكثف كيميائى سعته 10μF وجهده 25v.
C_2	مكثف كيميائى سعته 0.25 μF وجهده 16v.
D_1, D_2, D_6	ثلاثة ثنائيات طراز MR1032A.
D_3, D_5	ثنائيات سليكونية طراز 1N4003.
$D_4\ D_7$	ثنائيات سليكونية طراز 1N4001.
D_8	ثنائى زينر طراز MZ500-12.
Q_1, Q_2	ثايرستورين طراز 2N4442.
Q_3	ترانزستور أحادى الوصلة طراز 2N4870.

نظرية التشغيل:

يتم تغذية المحرك من القنطرة المؤلفة من D_1, D_2, Q_1, Q_2، ويقوم الثنائيان D_3, D_5 بتغذية تيار مستمر لدائرة إشعال الثايرستورات Q_1, Q_2 من خلال المقاومة R_1، ويعمل ثنائى الزينر D_8 على المحافظة على ثبات جهد دائرة إشعال الثايرستورات والمؤلفة من $R_2, C_1, C_2, R_4, R_3, Q_3$. فعندما يشحن المكثف C_2 لجهد إشعال الترانزستور Q_3 يشتعل Q_3، ومن ثم يصل جهد موجب لبوابات Q_2 , Q_1 فيشتعلان تباعًا. وعندما يفرغ المكثف C_2 شحنته تمامًا يتحول الترانزستور Q_3 لحالة القطع، وبواسطة المقاومة المتغيرة R_4 يمكن التحكم فى معدل شحن المكثف C_2، وبالتالى التحكم فى لحظة إشعال الترانزستور الأحادى الوصلة Q_3، وتباعًا إشعال الثايرستورات Q_1, Q_2، وبالتالى يتغير فرق الجهد المتشكل على أطراف المحرك M، ومن ثم تتغير سرعة المحرك.

والجدير بالذكر أن تردد المذبذب المتراخى المؤلف من Q_3 يساوى:

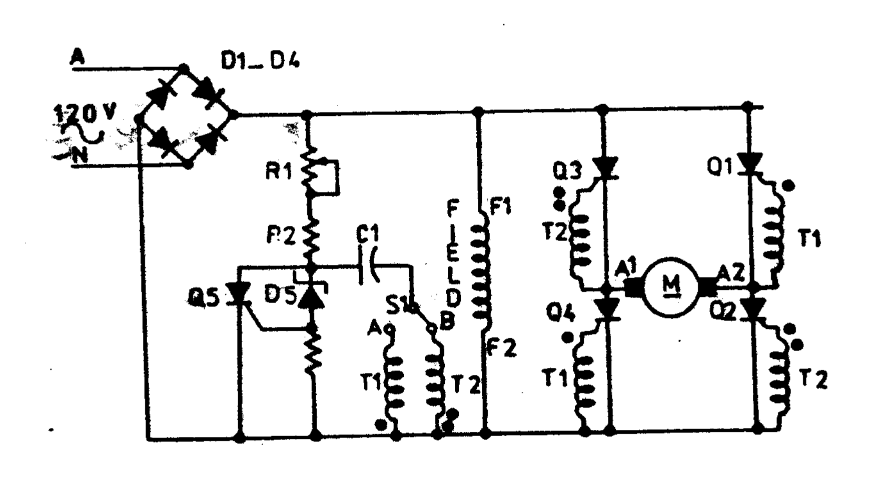
$$F = \frac{1}{(R_3 + R_4 C_2)} = 140: 1200HZ$$

فكلما قلت R_4 ازداد التردد مما يؤدى إلى اشتعال الثايرستورات Q_2, Q_1 مبكرًا، فيزداد جهد أطراف المحرك، وتزداد سرعته، والعكس بالعكس.

علمًا بأن قيمة المقاومة R_5 تساوى ($\frac{2}{I_M}$)، حيث إن I_M هو التيار الأقصى للمحرك كقيمة فعالة.

الدائرة رقم 2:

الشكل (٦-١٣) يبين دائرة عملية للتحكم فى سرعة واتجاه محرك تيار مستمر نوع التوازى. Shunt- Wound Motor قدرته كسر من الحصان.



الشكل (٦-١٣)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة متغيرة 20Ω وقدرتها 5W.
R_2	مقاومة 4.7KΩ وقدرتها 5W.
R_3	مقاومة كربونية 1KΩ .
C_1	مكثف كيميائى طراز 5μF وجهده 75VDC .

D_1-D_4	أربعة ثنائيات سليكونية طراز MR 504 أو MDA 3504.
D_5	ثنائى زينر طراز 1N5262.
Q_1 - Q_4	أربعة ثايرستورات طراز 2N4172.
Q_5	ثايرستور طراز 2N5062.
T_1-T_2	محولات نبضات طراز (11Z13) SPRAGUE.

نظرية التشغيل:

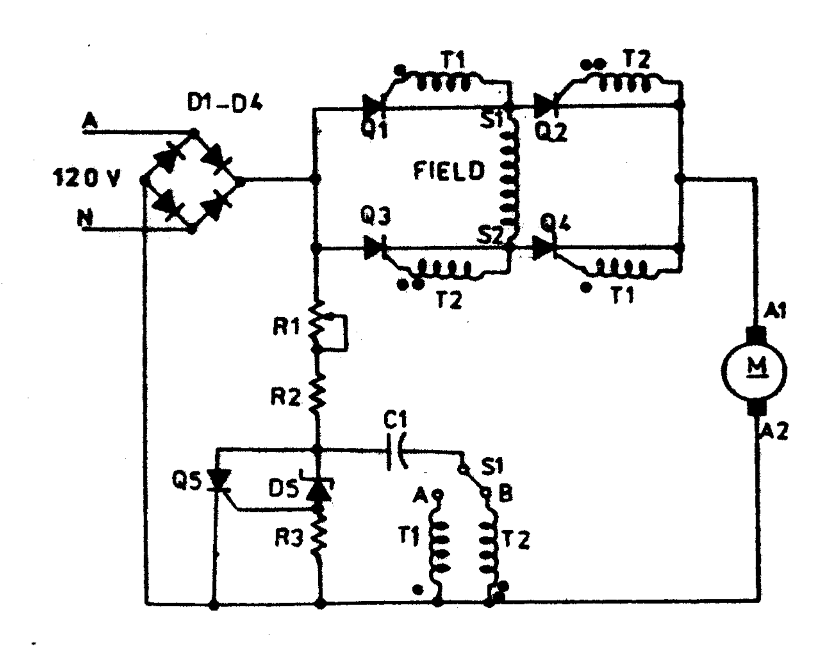
الموحدات المحكومة (الثايرستورات) Q_1, Q_4 والموصلة على شكل قنطرة يتم إشعال اثنين منها فى كل اتجاه دوران، كما سيتضح فيما بعد.

فعند وضع المفتاح S_1 على الوضع B تصل نبضة إشعال عبر محول النبضات T_2 إلى بوابة كل من Q_2, Q_3 ، فيمر التيار الكهربى الموحد فى ملف عضو الاستنتاج من A_2 إلى A_1، فى حين أن التيار الكهربى الموحد سيمر بصفة مستديمة فى ملف مجال التوازى من F_1 إلى F_2 فيدور المحرك جهة اليمين. وعند وضع المفتاح S_1 على وضع A تصل نبضة إشعال عبر محول النبضات T_1 إلى كل من Q_1, Q_4 فيمر التيار الكهربى الموحد فى ملف عضو الاستنتاج من A_2 إلى A_1، فى حين يظل التيار الكهربى الموحد يمر بصفة مستديمة فى ملف مجال التوازى من F_1 إلى F_2، فيدور المحرك جهة اليسار.

والجدير بالذكر أن نبضة الإشعال نحصل عليها من المكثف C_1. فعند شحن المكثف C_1 بجهد انهيار ثنائى الزينر D_5 فإن ثنائى الزينر سوف يسمح بمرور تيار لبوابة الثايرستور Q_5 ويشتعل الثايرستور Q_5، وهذا سوف يؤدى لتفريغ المكثف C_1 خلال T_2 أو T_1، وبالتالى نحصل على نبضة الإشعال. وتظل Q_5 فى حالة وصل أثناء نصف الدورة، ويمكن تغيير سرعة المحرك بالتحكم فى قيمة R_1، حيث إن تغييرها يغير الزمن اللازم لشحن المكثف C_1، وبالتالى تتغير زاوية الإشعال لكل من (Q_1, Q_4) أو (Q_2, Q_3)، ومن ثم يتغير جهد أطراف عضو الاستنتاج فتتغير سرعة المحرك.

الدائرة رقم 3:

الشكل (٦-١٤) يبين دائرة عملية للتحكم فى سرعة واتجاه محرك تيار مستمر نوع التوالى Series Wound Motor قدرته كسر من الحصان.



الشكل (٦- ١٤)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة متغيرة 20KΩ وقدرتها 5W.
R_2	مقاومة 4.7KΩ وقدرتها 5W.
R_3	مقاومة كربونية 1KΩ.
C_1	مكثف كيميائى سعته 2μF وجهده 75V.
D_1 - D_4	أربعة ثنائيات سليكونية طراز MR504 أو MDA3504.
D_5	ثنائى زينر طراز 1N5262.
Q_1 - Q_4	أربعة ثايرستورات طراز 2N4172.

T_1, T_2 محول نبضات طراز SPRAGUE(11Z13).

نظرية التشغيل:

تقوم القنطرة المؤلفة من D_1 - D_4 بتوحيد مصدر التيار المتردد، أما القنطرة المؤلفة من الثايرستورات Q_1 - Q_4 فهي تتحكم في اتجاه مرور التيار الكهربي الموحد في ملف المجال S_1 - S_2، وبالتالي التحكم في اتجاه دوران المحرك.

فعند وضع المفتاح S_1 على الوضع B تصل نبضة إشعال عبر المحول T_2 لكل من بوابة Q_2, Q_3، فيمر التيار الكهربي المستمر في ملف مجال التوالي من S_2 إلى S_1، في حين يمر التيار الكهربي في عضو الاستنتاج من A_1 إلى A_2، فيدور المحرك في اتجاه عقارب الساعة، وعند وضع المفتاح S_1 على الوضع A تصل نبضة إشعال عبر محول النبضات T_1 لكل من Q_1, Q_4، فيمر التيار الكهربي المستمر في ملف التوالي من S_1 إلى S_2، في حين يمر التيار الكهربي في عضو الاستنتاج من A_1 إلى A_2، ويدور المحرك في عكس اتجاه عقارب الساعة.

والجدير بالذكر أن نبضة الإشعال نحصل عليها من المكثف C_1، فعند شحن المكثف C_1 بجهد انهيار ثنائي الزينر D_5 فإن الزينر سوف يسمح بمرور تيار لبوابة الثايرستور Q_5 ويشتعل الثايرستور Q_5، وهذا سوف يؤدي لتفريغ المكثف C_1 خلال T_1 أو T_2، وبالتالي نحصل على نبضة الإشعال، علماً بأن Q_5 تظل في حالة وصل أثناء نصف الدورة، ويمكن تغيير سرعة المحرك بالتحكم في قيمة المقاومة المتغيرة R_1، حيث إن تغييرها يغير من الزمن اللازم لشحن المكثف C_1، وبالتالي تتغير زاوية الإشعال لكل من Q_1, Q_4 أو Q_2, Q_3.



الباب السابع

دوائر التحكم فى المحركات العامة

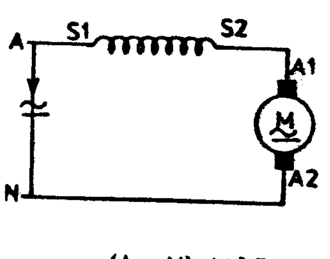
١٦٨

دوائر التحكم فى المحركات العامة

٧ / ١ - المحركات العامة UniversaL motors :

سميت المحركات العامة بهذا الاسم لأنه يمكن استخدامها كمحرك تيار مستمر ومحرك تيار متردد، وعادة تتواجد بقدرات تساوى كسر من الحصان، ولا يعتمد اتجاه دورانها على قطبية المصدر، فإذا وصلت المحركات العامة مع مصدر تيار متردد فإنها سوف تدور فى اتجاه واحد، وفى الحقيقة فإن المحرك العام يشبه محرك التيار المستمر نوع التوالى.

والشكل (٧ - ١) يبين التوصيل الداخلى للمحرك العام.



الشكل (٧ - ١)

والجدير بالذكر أن محرك التيار المستمر نوع التوالى الصغير لن يعمل بكفاءة مع التيار المتردد نتيجة لمفاقيد الرجوعية والتيارات الإعصارية التى تحدث فى الأجزاء المصمتة فى المحرك، مما يؤدى لارتفاع درجة حرارة المحرك، كما أن التيار المتردد سوف يكون كبيراً جداً، ويسبب حدوث شرر عند الفرش الكربونية، كما أن الحث الكبير لملفات المجال وعضو الاستنتاج سوف يجعل معامل قدرة المحرك صغيراً جداً، فى حين أن المحرك العام قد صمم أساساً للعمل مع مصادر التيار المتردد وكذلك مصادر التيار المستمر.

فتم تقليل التيارات الإعصارية بصناعة جسم أقطاب المجال وجسم العضو الثابت وجسم عضو الاستنتاج من شرائح من الحديد السليكونى المعزولة، وتم تقليل الحث الكبير للمجال بتقليل حجم الأقطاب وتقليل عدد الملفات وتقليل الفجوة الهوائية بين العضو الثابت والعضو الدوار، وتم تقليل الحث الكبير لعضو الاستنتاج باستخدام ملفات تعويض Compensating Windings توصل بالتوالى مع ملفات عضو

الاستنتاج.

والجدير بالذكر أن المحركات العامة، تستخدم فى التطبيقات التى تحتاج لعزم بدء كبير، ويعتبر المحرك العام محركاً متغير السرعة، حيث يمكن تغيير سرعته بتغيير جهد أطرافه.

ومعظم المحركات العامة مصممة للعمل عند سرعة تساوى 3600RPM، ويوجد الكثير من المحركات العامة التى تعمل عند سرعة تصل إلى 20000RPM، وتتراوح سرعة المحركات العامة المستخدمة فى آلات الورش ما بين (3600 : 7500RPM)، ونظراً للسرعات العالية المتاحة للمحركات العامة فإن النسبة بين قدرة ووزن هذه المحركات يكون كبيراً جداً، فمثلا: وزن محرك عام قدرته 1/2HP وسرعته 19000RPM هو 1Kg، فى حين أن وزن محرك استنتاجي وجه واحد قدرته 1/2HP وسرعته 1750RPM هو 13Kg، ولكن يعاب على المحركات العامة انخفاض كفاءتها، فتتراوح كفاءة هذه المحركات ما بين (30 : 75%)، وكذلك قصر عمرها، فهى تحتاج لتغيير فرش كربونية فى زمن يتراوح ما بين (300 : 1000 Hr).

وعادة تستخدم المحركات العامة فى الأجهزة المنزلية مثل ماكينات الخياطة وأجهزة المطبخ كالخلاطات والمطاحن والمفارم.... إلخ، وكذلك تستخدم المحركات العامة فى آلات الورش الصغيرة كالمثاقيب اليدوية وماكينات القطع اليدوية وماكينات الصنفرة اليدوية.... إلخ.

٧ / ٢ - الدوائر العملية للتحكم فى سرعة المحركات العامة:

عند تشغيل المحركات العامة تتولد قوة دافعة كهربية عكسية تتناسب مع سرعتها تناسباً طردياً تماماً كما هو الحال فى محركات التيار المستمر، ويصبح الجهد المحصل على أطرافها هو الفرق بين جهد المصدر المتردد والقوة الدافعة الكهربية المتولدة، فعند زيادة الحمل على المحرك تقل سرعته، وبالتالى تقل القوة الدافعة الكهربية العكسية، فيزداد الجهد المحصل على أطراف المحرك، وتزداد سرعة المحرك للسرعة المطلوبة، وبذلك نحصل على تنظيم ذاتى للسرعة، ومعظم المحركات العامة مصممة لإعطاء سرعة واحدة، ويمكن استخدام ثايرستورات أو ترياكات للحصول على مدى واسع للسرعات لهذه المحركات، وذلك بتغيير الجهد على أطراف هذه المحركات.

وسوف نتناول فى هذا الباب مجموعة من الدوائر العملية للتحكم فى سرعة محركات عامة تعمل عند جهد 220V وأخرى تعمل عند جهد 120V .

الدائرة رقم 1 :

الشكل (٧ – ٢) يعرض دائرة تحكم عملية فى سرعة محرك عام، يعمل عند احمال كبيرة متغيرة، مثل المثاقيب اليدوية وماكينات الصنفرة اليدوية .

الشكل (٧ – ٢)

عناصر الدائرة :

R_1	مقاومة10KΩ وقدرتها 5W .
RV_1	مجزئ جهد 1KΩ وقدرتها 2W.
D_1, D_2	ثنائيات سليكونية طراز 1N004 .
Q_1	ثايرستور يختار حسب قدرة المحرك العام M .
S_1	مفتاح قطب واحد سكة واحدة .

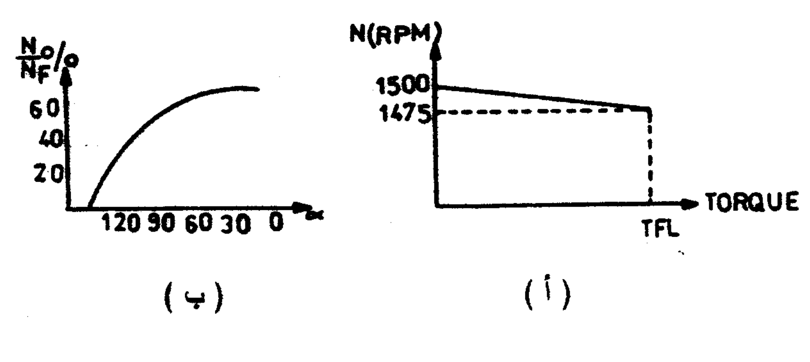
نظرية التشغيل :

تعرف هذه الدائرة أحياناً بدائرة الوجه الواحد ذات النصف موجة للتحكم فى سرعة المحركات العامة .

ويمكن التحكم فى سرعة المحرك بواسطة مجزئ الجهد RV_1، فعند تحريك الذراع المنزلقة لمجزئ الجهد RV_1 لاعلى تزداد سرعة المحرك وذلك لزيادة فرق الجهد بين بوابة ومهبط الثايرستور Q_1، فيشتعل الثايرستور مبكراً ويزداد جهد أطراف المحرك، وتزداد سرعته، والعكس بالعكس .

والجدير بالذكر ان سرعة المحرك لا يمكن أن تصل لسرعته الكاملة بهذه الدائرة؛ لان هذه الدائرة تعطى فقط نصف موجة القدرة للمحرك .

والشكل (٧- ٣) يبين العلاقة بين السرعة N والعزم Torque، وكذلك العلاقة بين النسبة بين السرعة والسرعة الكاملة (N/N_F) كنسبة مئوية وزاوية الإشعال α.



الشكل (٧ - ٣)

وعندما يزداد الحمل على هذا المحرك تقل سرعة المحرك فى بادئ الأمر فتقل القوة الدافعة الكهربية العكسية، وحيث إن مهبط الثايرستور Q_1 معرض للقوة الدافعة الكهربية العكسية؛ لذلك فإن جهد المهبط سوف ينخفض فيزداد فرق الجهد بين البوابة والمهبط V_{GK}، مما يؤدى إلى إشعال الثايرستور مبكراً، فيزداد الجهد المتوسط والتيار لعضو الاستنتاج، وهذا هو التصرف الطبيعى لتثبيت سرعة المحرك عند تغير الحمل.

ومن الشكل (٧ - ٣أ) يلاحظ أن سرعة المحرك الذى نحن بصدد دائرة التحكم فى سرعته، عند اللاحمل هى 1500 RPM، وسرعته عند الحمل الكامل هو 1475 RPM، أى أن النسبة المئوية لمعامل تنظيم الحمل LR% يساوى:

$$LR\% = \frac{N_{nL} - N_{FL}}{N_{FL}} \times 100 \rightarrow 7.1$$

حيث إن:

N_{FL} السرعة عند الحمل الكامل.

N_{nl} السرعة عند اللاحمل.

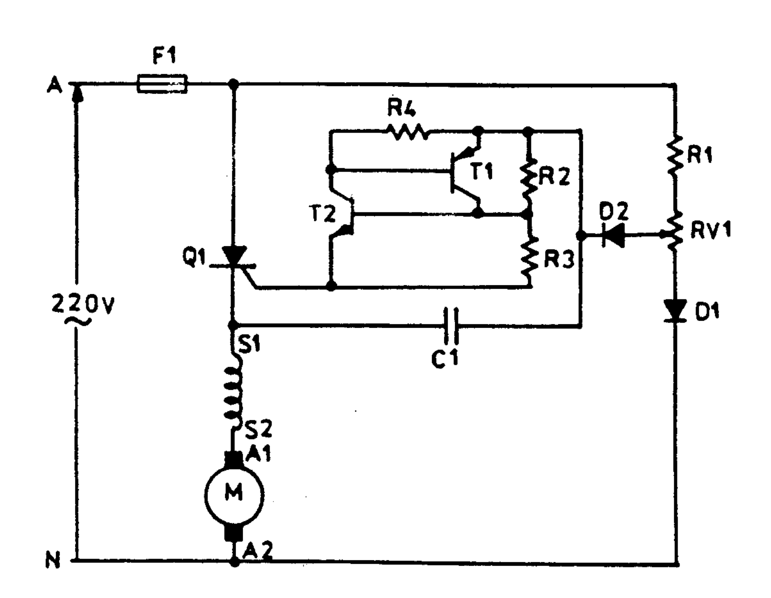
أى أن :

$$LR\% = \frac{1500 - 1475}{1475} \times 100 = 1.7\%$$

وتعتبر هذه النسبة مناسبة جداً لكثير من التطبيقات .

الدائرة رقم 2 :

الشكل (٧ – ٤) يعرض إحدى صور دوائر التحكم فى المحركات العامة المستخدمة فى المثاقيب اليدوية والخلاطات المنزلية ..... إلخ .



الشكل (٧ – ٤)

عناصر الدائرة :

R_1 مقاومة 10KΩ وقدرتها 5W.

R_2 مقاومة كربونية 2.2KΩ .

R_3 مقاومة كربونية 1KΩ .

R_4 مقاومة كربونية 560Ω .

RV_1	مجزئ جهد 1KΩ وقدرته 2W .
C_1	مكثف بوليستير 0.1µF وجهده 100VAC .
D_1, D_2	ثنائيات سليكونية طراز 1N 4004 .
T_1	ترانزستور PNP طراز BC 212L .
T_2	ترانزستور NPN طراز BC182L .
Q_1	ثايرستور طراز BT109 .
F_1	مصهر حماية للمحرك .

نظرية التشغيل:

يمر تيار كهربى فى مجزئ الجهد المكون من R_1, RV_1, D_1 فقط فى نصف الموجة الموجب، ويظهر جهد موجب على ذراع المجزئ RV_1، حيث يعمل على شحن المكثف C_1 من خلال الثنائى D_2. ويتناسب معدل شحن المكثف C_1 طردياً مع الفرق فى الجهد بين الذراع المنزلق للمجزئ RV_1 وجهد مهبط الثايرستور، وهو يمثل القوة الدافعة الكهربية العكسية للمحرك والتى تتناسب طردياً مع سرعة المحرك. وعندما يتعدى الجهد على أطراف المكثف C_1 جهد قيمته 3V فإن كلاً من T_1, T_2 سوف يتحولان لحالة الوصل، وتصل نبضة تيار لبوابة الثايرستور Q_1 فيتحول الثايرستور لحالة الوصل ويدور المحرك، وفى نصف الموجة السالب فإن الثايرستور Q_1 يتحول لحالة الفصل.

ومن سمات المحرك العام أنه عندما يعمل على مصدر جهد موحد نصف موجة فإنه يفقد 20% من القدرة التى يحصل عليها من مصدر جهد موحد موجة كاملة. وهذا يشجع على تشغيل المحركات العامة بمصدر جهد موحد نصف موجة.

وعند تحريك الذراع المنزلق لمجزئ الجهد RV_1 تجاه الثنائى D_1 فإن ذلك يعنى تقليل الجهد الذى ينتقل من الذراع المنزلق فى نصف الموجة الموجب إلى المكثف C_1، الأمر

الذى يؤدى إلى حدوث تأخير زمنى فى شحن المكثف، وتباعاً يتأخر تحول كل من T_1، T_2 لحالة الوصل، ومن ثم يتأخر إشعال الثايرستور Q_1 فتقل القدرة الكهربية التى تصل للمحرك عبر الثايرستور Q_1، فتقل سرعة المحرك، والعكس بالعكس.

والجدير بالذكر أن زاوية إشعال الثايرستور Q_1 فى هذه الدائرة يتراوح ما بين $0:90^0$، وبالتالى فإن الثايرستور لن يكون قادراً على إمرار قدرة للمحرك تقل عن 25% من القدرة الكلية الممكنة، وللحصول على سرعات صغيرة جداً هذا يعنى وصول قدرة صغيرة جداً للمحرك أقل من 25% من القدرة الكلية، ويتحقق ذلك بالطريقة التالية:

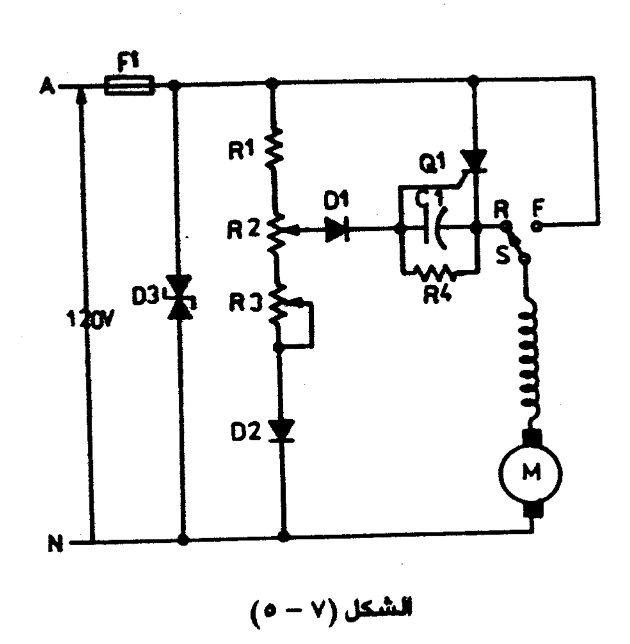
عند ضبط RV_1 للحصول على سرعة منخفضة جداً، ففى الدورة الأولى تصل قدرة تساوى 25% من القدرة الكلية الممكنة فيؤدى ذلك لزيادة السرعة عن القيمة المطلوبة، فتزداد القوة الدافعة الكهربية العكسية المتولدة من المحرك، وتباعاً فإن الجهد على طرفى المكثف C_1 لن يكون كافياً فى الدورة التالية لتحويل T_1، T_2 لحالة الوصل، الأمر الذى يجعل الثايرستور Q_1 يظل فى حالة قطع، ويظل الوضع على هذا الحال إلى أن تنخفض سرعة المحرك، وتباعاً تنخفض القوة الدافعة الكهربية العكسية على أطراف المحرك للحد المطلوب، وهذا قد يحتاج لعدة دورات.

والجدير بالذكر أنه عند أخذ السرعة المتوسطة للمحرك خلال فترة زمنية معينة نجد أن السرعة ثابتة ومنخفضة.

ويمكن زيادة حدود زوايا إشعال الثايرستور من أجل الحصول على سرعة منتظمة، وذلك بتوصيل مكثف سعته 2µF بالتوازى مع مجزئ الجهد RV_1.

الدائرة رقم 3:

الشكل (٧ – ٥) يعرض إحدى صور دوائر التحكم فى المحركات العامة، المستخدمة فى الخلاطات المنزلية وماكينات الخياطة وجميع المحركات الشبيهة.



الشكل (٧ - ٥)

عناصر الدائرة:

R_1 مقاومة 2.5KΩ وقدرتها 5W.

R_2 مجزئ جهد 500Ω وقدرته 4W.

R_3 مقاومة متغيرة 200Ω.

D_1، D_2 ثنائى جرمانيوم طراز GE - 504A.

D_3 ثايركتور جرمانيوم طراز X14.

C_1 مكثف كيميائى سعته 2μF وجهده 50V.

Q_1 ثايرستور.

S_1 مفتاح قطب واحد وبسكتين.

نظرية التشغيل:

يمكن التحكم فى سرعة المحرك بوضع المفتاح S_1 على وضع (R) Reduced وأثناء نصف الموجة الموجب لموجة جهد المصدر فإن ذراع مجزئ الجهد R_2 سيقارن جهد المصدر مع القوة الدافعة الكهربية العكسية المتولدة من المحرك العام والتى تنتقل لمهبط

الثايرستور Q_1، فعندما يكون جهد المصدر أكبر من القوة الدافعة الكهربية العكسية يشحن المكثف C_1 ويحدث إشعال للثايرستور فى اللحظة التى يصبح الجهد على أطراف المكثف C_1 كافياً لإمرار تيار I_{GT} فى بوابة الثايرستور Q_1، ويمكن التحكم فى سرعة المحرك بواسطة مجزئ الجهد R_2 للحصول على سرعات تتراوح ما بين (0.3:1) من السرعة الكاملة.

كما يمكن إدارة المحرك بالسرعة الكاملة بدون تحكم فى السرعة بوضع المفتاح S_1 على وضع F.

والجدول (٧ - ١) يبين أنواع الثايرستور وسعة المصهر F_1 تبعاً لشدة تيار المحرك العام المدونة على لوحة بيانات المحرك.

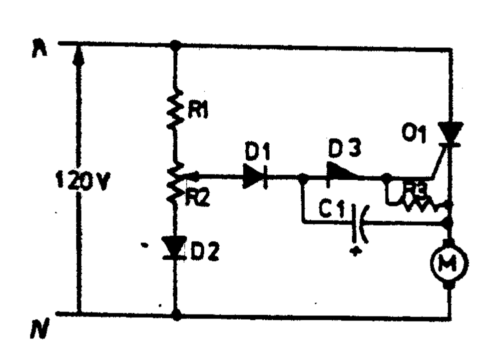
الجدول (٧ - ١)

العنصر	تيار المحرك 3A	تيار المحرك 5A
Q_1	GE - X_1	GE - C30B
F_1	3A	5A

والجدير بالذكر أن الثايركتور D_3 يقوم بحماية الدائرة عند زيادة جهد المصدر عن الجهد المقنن، حيث يتحول الثايركتور لحالة الوصل ليحافظ على الجهد على أطراف المحرك عند الجهد المقنن.

الدائرة رقم 4:

الشكل (٧ - ٦) يعرض إحدى صور دوائر التحكم فى المحركات العامة باستخدام ثايرستور يتم التحكم فيه باستخدام موحد رباعى الطبقات.



الشكل (٧ - ٦)

عناصر الدائرة:

R_1 مقاومة كربونية 100KΩ .

R_2 مقاومة متغيرة 25KΩ .

R_3 مقاومة كربونية 1KΩ .

C_1 مكثف كيميائى 0.01μF وجهده 50VDC .

D_1, D_2 ثنائيات سليكونية طراز 1N5059 .

D_3 موحد رباعى الطبقات طراز 2N4990 .

Q_1 ثايرستور طراز GE - C22B .

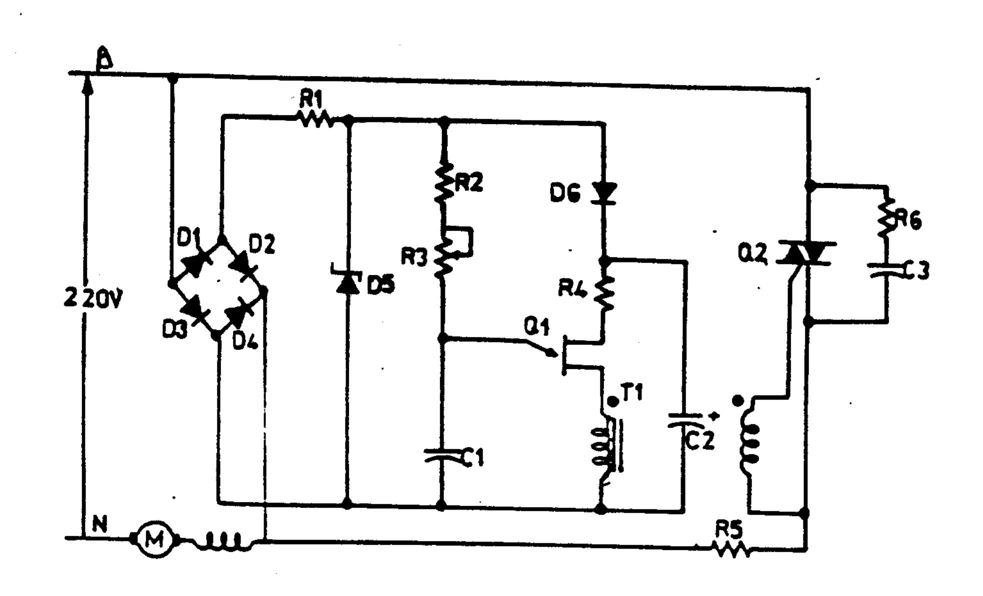
نظرية التشغيل:

لا تختلف هذه الدائرة كثيراً عن الدوائر السابقة، عدا استخدام موحد رباعى الطبقات D_3، حيث يسمح هذا الموحد بمرور الجهد المبنى على المكثف C_1 للوصول لبوابة الثايرستور Q_1 فقط عند وصول قيمة الجهد لجهد انهيار الموحد الرباعى الطبقات، فبمجرد ارتفاع الجهد على أطراف المكثف C_1 لحوالى 10V يتحول الموحد الرباعى الطبقات D_3 لحالة الوصل فتصل نبضة إشعال للثايرستور كافية لإشعال الثايرستور، وبذلك نضمن عدم إشعال الثايرستور إلا بعد وصول الجهد على أطراف المكثف إلى 10V مهما اختلفت درجة حرارة الثايرستور ومهما اختلفت خواص الثايرستور، وهذا لا يتوفر فى الدوائر السابقة.

ويتميز الموحد الرباعى الطبقات بأنه مستقر (خواص ثابتة) مهما تغيرت درجة حرارته.

الدائرة رقم 5:

الشكل (٧ – ٧) يعرض إحدى صور دوائر التحكم فى سرعة المحركات العامة، باستخدام ترياك يتم التحكم فيه بترانزستور أحادى الوصلة.



الشكل (٧ - ٧)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة 35KΩ قدرتها 3W.
R2	مقاومة كربونية 39KΩ.
R_3	مقاومة متغيرة 50KΩ.
R_4	مقاومة كربونية 330Ω.
R_5	انظر الشرح.
R_6	مقاومة كربونية 100Ω.
C_1	مكثف كيميائى 0.1µF وجهده 10V.
C_2	مكثف كيميائى 10µF وجهده 10V.
C_3	مكثف بولى كربونات 0.1µF وجهده 400VAC.
D_1 - D_4	أربعة ثنائيات سليكونية طراز 1N4004.

D_5	ثنائى زينر جهده 5.1V طراز 1N751A .
D_6	ثنائى سليكونى طراز 1N4001 .
Q_1	ترانزستور أحادى الوصلة طراز 2N5431 .
Q_2	ترياك طراز 2N6346 .
T_1	محول نبضات طراز (11Z12) SPRAGUE .

نظرية التشغيل:

يقوم ثنائى الزينر D_5 بتثبيت جهد الموجة الموحدة بواسطة القنطرة المؤلفة من D_1 - D_4 ليساوى 5.1V، وبمجرد تشكل جهد 5.1V+ على أطراف موحد الزينر فإن المكثف C_1 يبدأ فى الشحن عبر R_2, R_3، وبمجرد وصول الجهد على أطراف C_1 بجهد إشعال Q_1 تخرج نبضة للجانب الابتدائى لمحول النبضات T_1 وتنتقل للجانب الثانوى ليشتعل الترياك Q_2، ويمكن التحكم فى زاوية إشعال الترياك بواسطة المقاومة المتغيرة R_3 .

والجدير بالذكر أن قيمة المقاومة R_5 تعتمد على شدة تيار المحرك، حيث إن قيمة المقاومة R_5 تساوى $\left(\frac{2}{I_M}\right)$، حيث إن I_M هى القيمة العظمى لتيار المحرك .

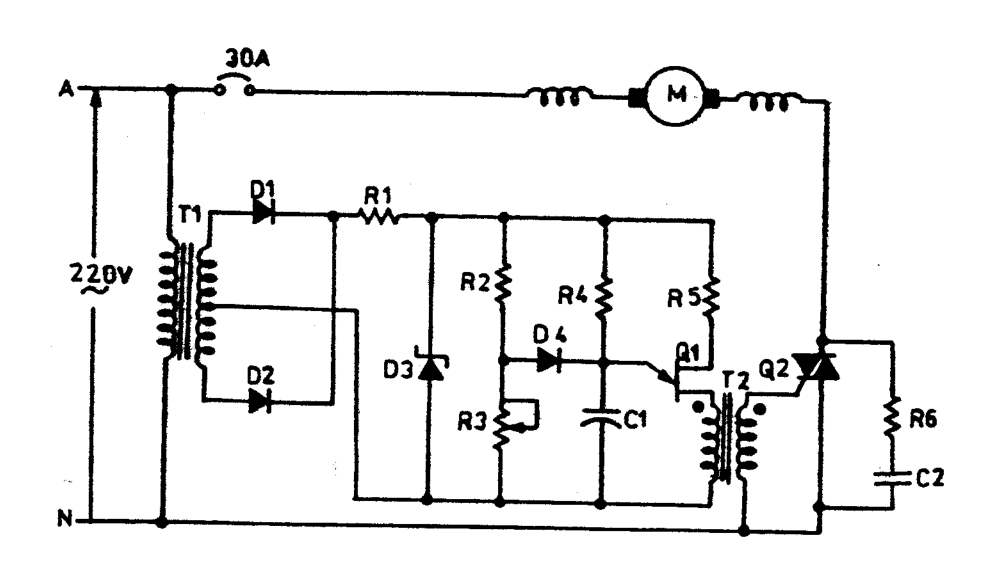
والجدول (٧ - ٢) يبين قيمة وقدرة المقاومة R_5 عند قيم مختلفة لشدة تيار المحرك .

الجدول (٧ - ٢)

شدة التيار	R_5 المقاومة	R_5 القدرة
2A	1	5
3A	0.67	10
6.5A	0.32	15

الدائرة رقم 6 :

الشكل (٧ – ٨) يعرض دائرة تحكم تناسبى فى سرعة محرك عام .



الشكل (٧ – ٨)

عناصر الدائرة :

R_1	مقاومة كربونية 100Ω وقدرتها 2W .
R_2	مقاومة كربونية 3.3KΩ .
R_3	مقاومة متغيرة 10KΩ .
R_4	مقاومة كربونية 50KΩ .
R_5, R_6	مقاومات كربونية 100Ω .
C_1	مكثف كيميائى 0.1μF وجهده 20V .
C_2	مكثف بولى كربونات 0.1μF وجهده 400VAC .

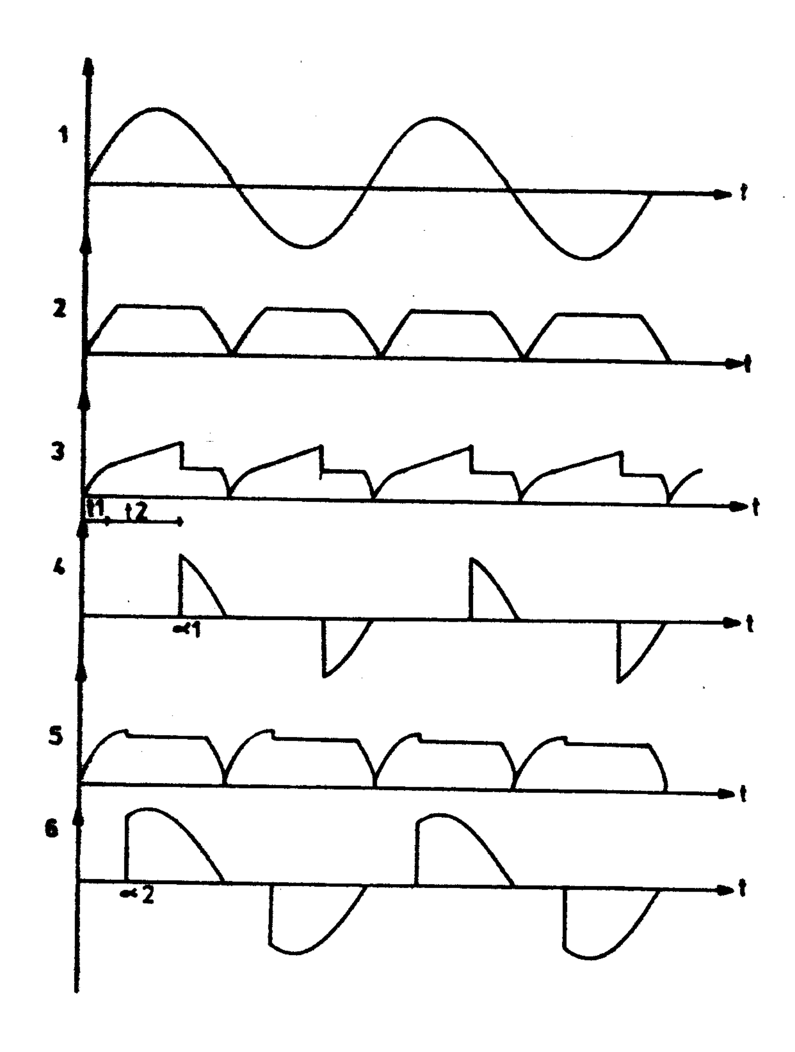
D_1, D_2, D_4	ثنائيات سليكونية طراز 1N4000 .
D_3	ثنائى زينر جهد 20V .
Q_1	ترانزستور أحادى الوصلة 2N2646 .
Q_2	ترياك طراز MAC525A5 .
T_1	محول خفض 24 - 0 - 220/24 بنقطة تفرع من المنتصف .
T_2	محول نبضات طراز (SPRAGUE (11Z 12 .
CB	قاطع 30A .

نظرية التشغيل:

يطلق على هذه الدائرة أحياناً بدائرة التحكم بالعمود والمنحدر - Ramp. and) Pedstal Control فيقوم المحول T_1 بخفض الجهد من 24V - 0 - 220/24، ويقوم D_1، D_2 بتوحيد خرج الجانب الثانوى للمحول T_1 للحصول على موجة كاملة جهدها الأقصى 34V، ويقوم ثنائى الزينر D_3 بتحديد الحد الأقصى للجهد الموحد ليصبح 20V، ويشحن المكثف C_1 بسرعة جداً وصولاً للجهد الخارج من D_4، والذى يعتمد على قيم كل من R_2, R_3، وبمجرد وصول الجهد على أطراف المكثف C_1 للجهد الخارج من D_4 يحدث انحياز عكسى للثنائى D_4، وبالتالى يمنع تفريغ المكثف فى R_3 ويستمر شحن المكثف C_1 من خلال المقاومة R_4، ولكن بمعدل شحن بطىء جداً لكبر المقاومة R_4، وعندما يصل الجهد على أطراف المكثف C_1 لجهد إشعال Q_1 تنتقل نبضة إشعال من خلال محول النبضات T_2 لبوابة الترياك Q_2 فيشتعل الترياك .

ويمكن التحكم فى زمن التأخير الذى يشتعل بعده الترياك Q_2 بالتحكم فى قيمة المقاومة R_3، فكلما ازدادت قيمة R_3 ازداد جهد العمود Pedestal، وهو الجهد الذى يحدث انحيازاً أمامياً للثنائى D_4 فى بادئ الأمر، ويحدث شحن سريع للمكثف C_1، وبمجرد وصول الجهد على طرفى المكثف C_1 لجهد العمود يحدث انحياز عكسى للثنائى D_4 ويشحن المكثف من خلال المقاومة R_4، وصولاً لجهد إشعال الترانزستور Q_1، ومن ثم تنتقل نبضة إشعال الترياك Q_2 عبر محول النبضات T_2 .

والشكل (٧ – ٩) يبين شكل موجات الجهد عند النقاط المختلفة للدائرة السابقة.



الشكل (٧ – ٩)

فالموجة 1 تمثل موجة جهد المصدر المتردد.

والموجة 2 تمثل موجة الجهد على أطراف ثنائى الزينر D_3.

والموجة 3 تمثل موجة الجهد على أطراف المكثف C_1 عندما تكون المقاومة R_3 مضبوطة عند قيمة تساوى 3.3KΩ، حيث إن t_1 زمن شحن المكثف C_1 عبر المقاومة R_2 وصولاً لجهد يساوى جهد أطراف المقاومة R_3، أما t_2 فهو زمن شحن C_1 عبر المقاومة R_4، وصولاً لجهد إشعال الترانزستور Q_1 والذى يساوى 14.5V تقريباً.

والموجة 4 تبين شكل موجة الجهد على أطراف المحرك والناتجة من اشتعال الثايرستور Q_2 عند وصول نبضة إشعال من الترانزستور Q_1 عبر المحول T_2 نتيجة للجهد المشكل على المكثف C_1 والمبين بالموجة 3.

والموجة 5 تبين شكل موجة الجهد على أطراف المكثف C_1 عندما تكون المقاومة R_3 مضبوطة عند قيمة 7KΩ تقريباً.

والموجة 6 تبين شكل موجة الجهد على أطراف المحرك نتيجة لتعرض بوابة الترانزستور Q_1 للجهد المشكل على أطراف C_1 والمبين بالموجة 5.

ويلاحظ أنه كلما ازدادت قيمة المقاومة R_3 ازداد الجهد المسلط على المحرك، ومن ثم تزداد سرعة المحرك، والعكس بالعكس.

الدائرة رقم 7:

الشكل (٧ – ١٠) يعرض دائرة تحكم تناسبى فى سرعة محرك عام بتغذية مرتدة.

عناصر الدائرة:

R_1 مقاومة كربونية 100Ω.

R_2 مقاومة كربونية 3.3KΩ.

R_3 مقاومة متغيرة 10KΩ.

R_4	مقاومة كربونية 50KΩ.
R_5	مقاومة كربونية 1KΩ.
R_6	مقاومة كربونية 10KΩ.
R_7	مقاومة كربونية 220KΩ.
C_1	مكثف كيميائى 0.1μF وجهده 20V.
C_2	مكثف كيميائى 1μF وجهده 16V.
D_1, D_2, D_4, D_5	ثنائيات سليكونية طراز 1N4000.
D_3	ثنائى زينر جهده 20V.
Q_1	ترانزستور PUT طراز 2N6027.
Q_2	ترانزستور NPN طراز 2N6027.
Q_3	ترياك طراز MAC25A5.
T_1	محول خفض (24V - ,0V ,24V+)220 بنقطة تفرع فى المنتصف.
T_2	محول نبضات طراز (11Z12) SPRAGUE.
CT	محول تيار له جهد ثانوى يساوى 0.8V لكل 1A فى الابتدائى طراز M15.

الشكل (٧ - ١٠)

نظرية التشغيل:

لا تختلف هذه الدائرة عن الدائرة السابقة والتى تعمل بمبدأ التحكم بالعمود والمنحدر Ramp and Pedestal Control، عدا استبدال الترانزستور الأحادى الوصلة ترانزستورPUT بالإضافة لاستخدام محول التيار CT والثنائى D_5 ومجزئ الجهد المؤلف من R_6, R_7 للإحساس بتيار المحرك.

فعند حدوث تغير فى سرعة المحرك نتيجة للحمل فإن هذا سوف يغير من تيار المحرك بطريقة عكسية، وحيث إن جهد الملف الثانوى لمحول التيار CT طراز MI5 حوالى (0.8V/A) لذلك فإن جهد الملف الثانوى لمحول التيار سوف يتغير بتغير تيار المحرك، ويتم توحيد هذا الجهد المتغير بالموحد D_5 وتنعيمه بواسطة C_2، ويتحكم هذا الجهد فى الترانزستور Q_2 من خلال مجزئ الجهد R_7، فكلما ازداد هذا الجهد ازدادت موصلية الترانزستور Q_2 (أى قل فرق الجهد بين مجمعه وباعثه) وقل جهد البوابة (G) للترانزستور Q_1، والعكس بالعكس.

وحيث إن جهد إشعال الترانزستور Q_1 يساوى:

$$V_P = V_G + 0.7V$$

وبالتالى يشتعل الترانزستور Q_1 مبكراً كلما قل جهد بوابة V_G، فيشتعل الترياك Q_3 مبكراً، ويزداد فرق الجهد على أطراف المحرك، وتزداد سرعة المحرك، والعكس بالعكس.

ويمكن تغيير سرعة المحرك بواسطة المقاومة المتغيرة R_3 أو مجزئ الجهد R_7، فإذا ثبتنا قيمة المقاومة المتغيرة R_3 يمكن ضبط سرعة المحرك بواسطة مجزئ الجهد R_7 والعكس بالعكس. فإذا ثبتنا قيمة المقاومة R_7 وتم ضبط سرعة المحرك بواسطة المقاومة المتغيرة R_3 على سرعة 1500 RPM مثلاً، فإذا زاد الحمل على المحرك انخفضت سرعة المحرك فيزداد تيار المحرك، ويزداد جهد قاعدة الترانزستور Q_2، وبالتالى يزداد تيار مجمع Q_2، وتباعاً يقل جهد بوابة Q_1 فيقل الزمن اللازم لوصول الجهد على أطراف لكثف C_1 لجهد إشعال Q_1 فتقل زاوية إشعال الترياك Q_3، ويزداد الجهد على أطراف المحرك فتزداد سرعة المحرك وصولاً للسرعة المطلوبة وهكذا.

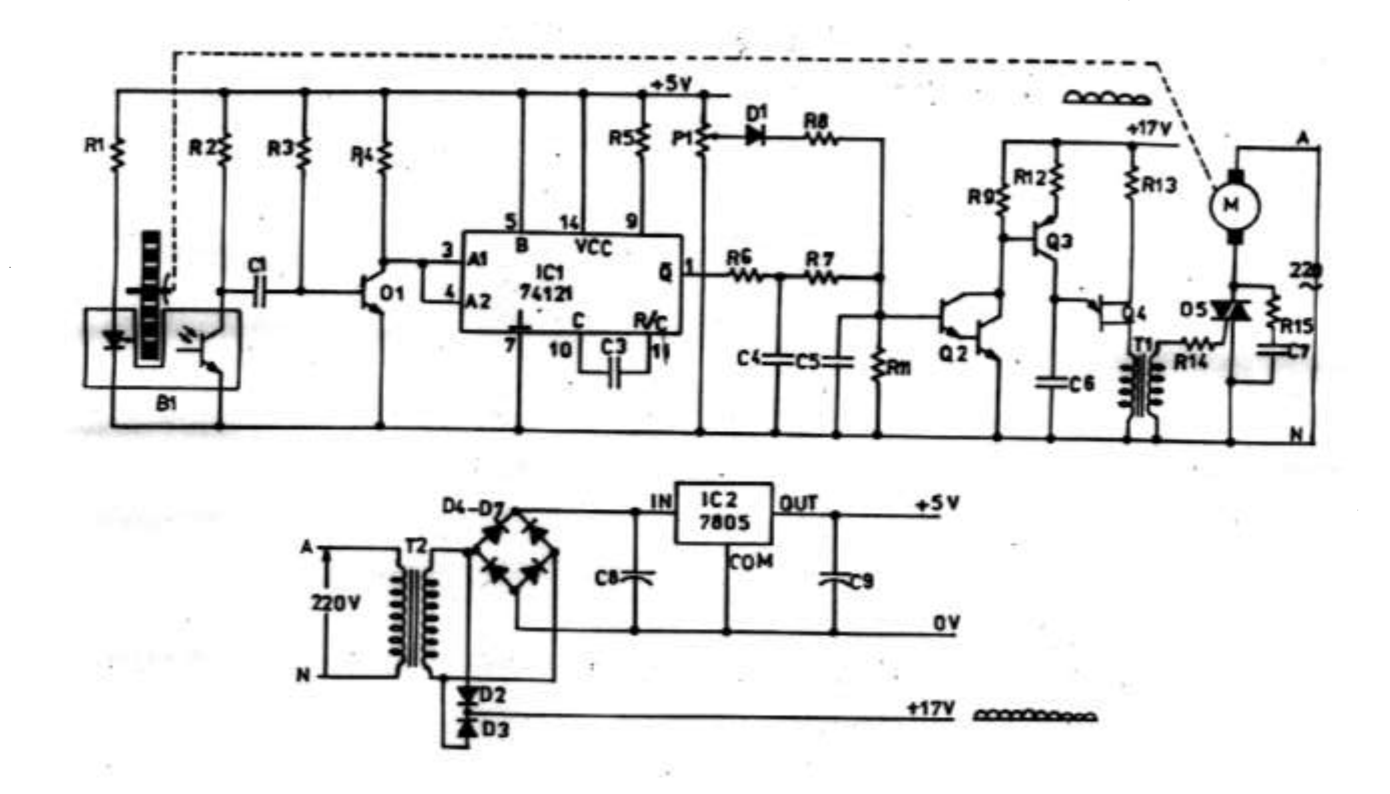
الدائرة رقم 8:

الشكل (٧ - ١١) يعرض دائرة تحكم فى سرعة محرك عام قدرته اقل من 1KW، باستخدام محول إشارة سرعة رقمى **Digital speed Transducer**.

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية 330Ω.
R_2	مقاومة كربونية 82KΩ.
R_3	مقاومة كربونية 390KΩ.
R_4	مقاومة كربونية 1.8KΩ.
R_5	مقاومة كربونية 33KΩ.
R_6	مقاومة كربونية 27KΩ.
R_7	مقاومة كربونية 27KΩ.
R_8	مقاومة كربونية 56KΩ.
R_9	مقاومة كربونية 470KΩ.
R_{10}	مقاومة كربونية 1.8KΩ.
R_{11}	مقاومة كربونية 33KΩ.
R_{12}	مقاومة كربونية 5.6KΩ.
R_{13}	مقاومة كربونية 270Ω.
R_{14}	مقاومة كربونية 390Ω.
R_{15}	مقاومة كربونية 47Ω.
P_1	مجزئ جهد 1KΩ.
C_1	مكثف سيراميك 100nF.
C_2	مكثف سيراميك 100nF.

C_3	مكثف سيراميك 47nF.
C_4	مكثف سيراميك 1µF .
C_5	مكثف سيراميك 1µF.
C_6	مكثف سيراميك 220nF.
C_7	مكثف بولى كربونات 22nF وجهده 400VAC .
C_8	مكثف كيميائى 220µF وجهده 6V .
C_9	مكثف كيميائى 220µF وجهده 25V .
D_1	ثنائى سليكونى طراز 1N4148 .
D_2 - D_7	ثنائيات سليكونية طراز 1N4004 .
Q_1	ترانزستور NPN طراز BC547B .
Q_2	ترانزستور NPN دارلنجتون طراز BC517 .
Q_3	ترانزستور PNP طراز BC557B .
Q_4	ترانزستور أحادى الوصلة طراز 2N2646 .
Q_5	ترياك يختار حسب قدرة المحرك (انظر الشرح) .
IC_1	دائرة متكاملة لمذبذب أحادى الاستقرار طراز 74121 .
IC_2	منظم جهد ثلاثى الأرجل طراز 7805 .
B_1	وحدة ارتباط ضوئية طراز H 1A1 .
T_1	محول نبضات 1 : 2 طراز AL250 .
T2	محول خفض 220/12V وسعته 6VA .


R1
R2
R3
R4
+5V
R5
P1
D1
R8
+17V
R9
R12
R13
M
A
C1
Q1
3
4
A1
A2
5
14
9
B
VCC
IC1
74121
Q
1
R6
R7
Q3
Q4
D5
R15
220
C
R/C
7
10
C3
11
C4
C5
Rm
Q2
T1
R14
C7
C6
B1
N
D4-D7
IN
IC2
7805
OUT
+5V
T2
220V
C8
COM
C9
0V
D2
D3
+17V

الشكل (٧ – ١١)

نظرية التشغيل:

يتم الإحساس بسرعة المحرك بواسطة تاكوميتر رقمي، وهو يتألف من وحدة ارتباط ضوئية بمجرة Slot تسمح بدوران قرص مثقب مثبت فى عمود إدارة المحرك بداخلها، وهذا القرص يحتوى على 15 ثقباً، وعند دوران هذا القرص المثقب فإن الشعاع الضوئى المنبعث من الثنائى المشع سوف ينقطع 15 مرة فى كل لفة كاملة للقرص، وبالتالى فإن الترانزستور الضوئى لوحدة الارتباط الضوئية B_1 سوف يتحول لحالة الوصل والقطع 15 مرة فى كل لفة للمحرك، ويمكن استخدام النبضات المتولدة من مجمع الترانزستور الضوئى فى إشعال دائرة متكاملة لمذبذب أحادى الاستقرار طراز 74121 فنحصل على نبضات عرضها يساوى:

$$t = 0.693R_5C_3$$

$$t = 1mS$$

ويكامل خرج المذبذب الأحادى الاستقرار (74121) بواسطة المقاومة R_6 والمكثف C_4 ثم يكامل مرة ثانية بواسطة المقاومة R_7 والمكثف C_5 للحصول على خرج تيار مستمر يتناسب عكسياً مع سرعة المحرك، ويمكن ضبط سرعة المحرك المطلوبة بواسطة مجزئ الجهد P_1، ويستخدم خرج المكثف C_5 فى التحكم فى الترانزستور Q_2 الذى يتحكم بدوره فى الترانزستور Q_3، ومن ثم يتحكم فى تيار شحن C_6، وهذا سيقوم بدوره بالتحكم فى اللحظة التى تصل نبضة إشعال من ترانزستور الأحادى الوصلة Q_4 إلى الترياك Q_5 من خلال محول النبضات T_1، فإذا انخفض الحمل على المحرك فإن سرعة المحرك سوف تزداد وبالتالى يقل الجهد على طرف المكثف C_5 فيقل تيار قاعدة الترانزستور Q_2 فتقل موصلية Q_2، وتباعاً يزداد جهد مجمع Q_2 فتقل موصلية Q_3، وتباعاً يقل تيار مجمع Q_3 فيتأخر شحن المكثف C_6 فتتأخر نبضة إشعال الترياك Q_5 فينخفض الجهد على أطراف المحرك فتقل سرعة المحرك.

أما إذا زاد الحمل على المحرك فإن سرعة المحرك سوف تقل فيزداد الجهد على أطراف المكثف C_5 فيتشبع Q_2 ويقل جهد مجمعه فيتشبع Q_3، وبالتالى يشحن المكثف C_6 بسرعة مما يؤدى إلى وصول نبضة إشعال للترياك Q_5 من الترانزستور Q_4 من خلال

محول النبضات T_1 مبكراً فتزداد سرعة المحرك.

والجدير بالذكر أن مرحلة الإشعال المؤلفة Q_2, Q_3, Q_4 يتم تغذيتها من مصدر جهد مستمر غير منظم 6 جهده يساوى $\sqrt{2V}$ 12، وذلك حتى تكون نبضات الإشعال متزامنة مع المصدر المتردد.

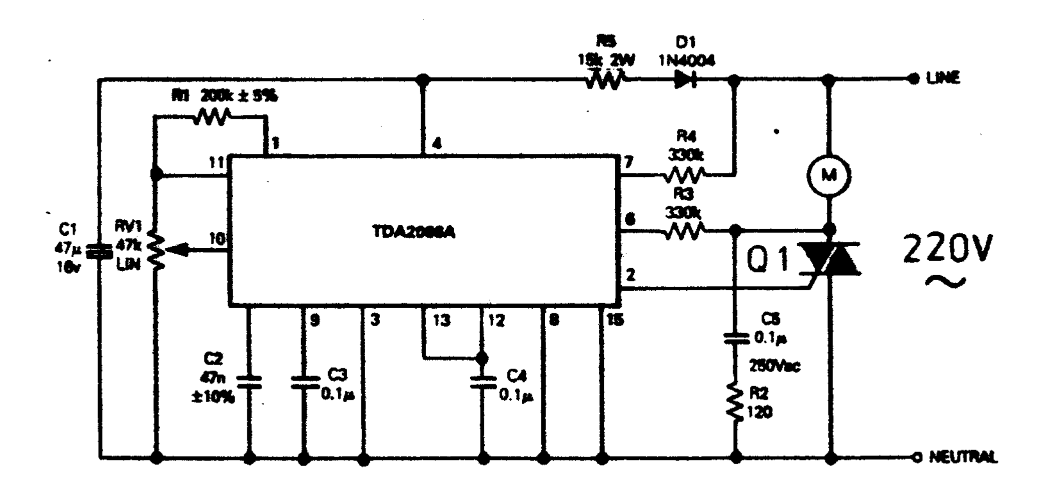
ويختار الترياك تبعاً لقدرة المحرك، ويجب أن يختار بحيث يكون جهده مساوياً على الأقل ثلاث مرات جهد المصدر، أما التيار فيجب أن يختار بحيث يساوى ضعف التيار المسحوب عند معامل قدرة الوحدة، فمثلاً إذا كانت قدرة المحرك 600W وجهد تشغيل المحرك 220V فإن تيار الترياك يساوى:

$$I = \frac{600}{220} \times 2 = 5.5A$$

وتشكل المقاومة R_{15} والمكثف C_7 دائر مصيدة Snubber لمنع حدوث إشعال للترياك نتيجة لقفزات الجهد فى المصدر الكهربى.

الدائرة رقم 9:

الشكل (٧ – ١٢) يعرض دائرة تحكم مفتوحة Open Loop فى محرك عام يستخدم فى الأجهزة المنزلية، مستخدماً الدائرة المتكاملة TDA2086A.



الشكل (٧ – ١٢)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية 200KΩ بتفاوت 5% + .
R_2	مقاومة كربونية 120Ω .
R_3	مقاومة كربونية 330KΩ .
R_4	مقاومة كربونية 330KΩ .
R_5	مقاومة كربونية 15KΩ وقدرتها 2W .
RV_1	مجزئ جهد 47KΩ .
C_1	مكثف كيميائى 47µF وجهده 16V .
C_2	مكثف 47nF بتفاوت 10%+ .
C_3	مكثف سيراميك 0.1µF .
C_4	مكثف سيراميك 0.1µF .
C_5	مكثف بولى 0.1µF كربونات وجهده 250VAC .
D_1	ثنائى سليكونى طراز 1N4004 .
Q_1	ترياك يختار حسب قدرة المحرك .

نظرية التشغيل:

يمكن ضبط سرعة المحرك بواسطة مجزئ الجهد RV_1، حيث يوصل هذا المجزئ بين الرجل 11 (جهدها -5V) والأرضى، وتصل نبضات إشعال سالبة للترياك Q_1 من الرجل 2، علماً بأن النبضات السالبة أفضل من مثيلتها الموجبة، حيث يقل تيار الإشعال.

والجدير بالذكر أن عرض نبضة إشعال الترياك تتحدد بقيمة R_1، C_2 فعندما يكون

$$R_1 = 200K\Omega \pm 5\% \ , \ C_2 = 47nF \pm 10\%$$

فإن عرض نبضة الإشعال يساوى 70µS وزمن إعادة الإشعال 100µS، ويتحكم فى ذلك دائرة توقيت نبضات داخلية.

والجدير بالذكر أن الدائرة المتكاملة TDA2086A تحتوى داخلياً على مولد أسنان منشار Ramp، يقوم بتحديد معدل تغير جهد الأساس V_S، وبالتالى يتحكم فى معدل تعجيل المحرك، حيث إن معدل تغير أسنان المنشار Ramp بالنسبة للزمن يساوى:

$$V_r = \frac{I_r \times 10^{-6}}{C_S} \ V/S \rightarrow 7.2$$

حيث إن:

V_r هو معدل Ramp.

I_r تيار مصدر التيار الداخلى ويساوى 30µA.

C_S المكثف الموصل بالرجل 9.

وبالتالى فإن:

$$V_r = \frac{30 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-6}} = 3V/S$$

فعندما يحدث تغير لجهد الأساس من 0V إلى 3.5V - فإن الزمن اللازم لتعجيل المحرك ta يساوى:

$$t_a = \frac{\Delta V_S}{V_r} \rightarrow 7.3$$

حيث إن:

ΔV_S هو التغير فى جهدالأساس.

V_r معدل Ramp.

أى أن:

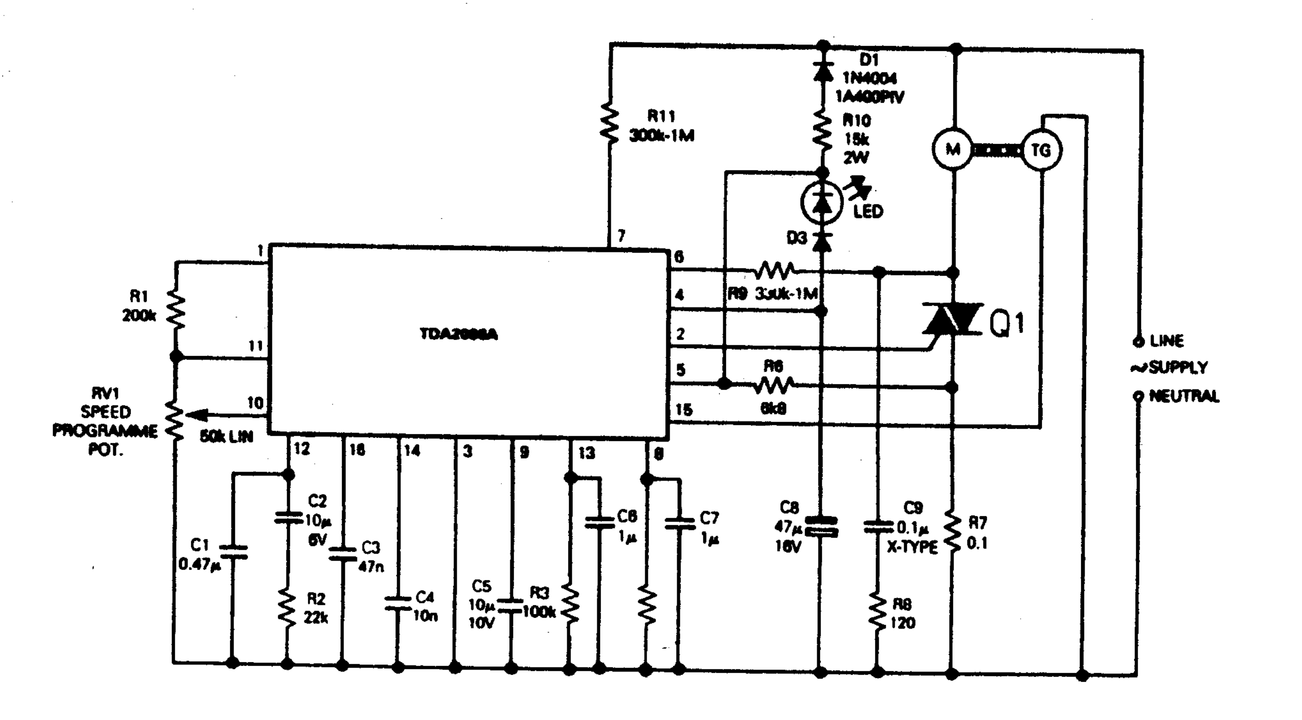
$$t_a = \frac{0 - (-3.5)}{3} = 1.16S$$

الدائرة رقم 10 :

الشكل (٧ - ١٣) يعرض دائرة تحكم مغلقة Close Loop فى محرك عام، مستخدماً الدائرة المتكاملة TDA2086A .

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية 200KΩ .
R_2	مقاومة كربونية 22KΩ .
R_3	مقاومة كربونية 100KΩ .
R_4	مقاومة كربونية 100KΩ .
RV_1	مقاومة متغيرة 50KΩ .
R_6	مقاومة كربونية 6.8KΩ .
R_7	مقاومة كربونية 0.1Ω .
R_8	مقاومة كربونية 120Ω .
R_9	مقاومة كربونية 330KΩ:1MΩ .
R_{10}	مقاومة كربونية 15KΩ وقدرتها 2W .
R_{11}	مقاومة كربونية 330KΩ:1MΩ .
C_1	مكثف سيراميك 0.47µF .
C_2	مكثف سيراميك 10µF وجهده 6V .
C_3	مكثف سيراميك 47nF .
C_4	مكثف سيراميك 10nF .
C_5	مكثف سيراميك 10µF وجهده 10V .
C_6	مكثف سيراميك 1µF .
C_7	مكثف سيراميك 1µF .
C_8	مكثف سيراميك 47µF وجهده 16V .
C_9	مكثف سعته 0.1µF .
D_1, D_3	ثنائيات سليكونية طراز 1N4004 .
D_2	ثنائى مشع قياسى .
T_G	مولد تاكو ثمانى أقطاب يدور بسرعات تتراوح ما بين 0:1500RPM .
Q_1	ترياك يختار حسب قدرة المحرك .



LINE
~SUPPLY
NEUTRAL
M
TG
Q1
D1
1N4004
1A400PIV
R10
15k
2W
LED
D3
R11
300k-1M
R9
R6
6k8
R1
200k
RV1
SPEED
PROGRAMME
POT.
50k LIN
C1
0.47µ
C2
10µ
6V
R2
22k
C3
47n
C4
10n
C5
10µ
10V
R3
100k
C6
1µ
C7
1µ
C8
47µ
16V
C9
0.1µ
X-TYPE
R8
120
R7
0.1

الشكل (٧ – ١٣)

نظرية التشغيل:

إن جهد الرجل 10 يمثل جهد التحكم فى سرعة المحرك، وعادة يتم التحكم فى هذا الجهد بواسطة مجزئ الجهد RV_1 والموصل بين الرجل 11 (خرج منظم جهد داخلى جهده 5V-) والأرضى، ويقارن جهد التغذية المرتدة عند الرجل 13 مع جهد الأساس عند الرجل 10، ونحصل على جهد الخطأ error عند الرجل 12، ويتم ذلك داخلياً بواسطة مقارن.

والجدير بالذكر ان الدائرة المتكاملة TDA2086A تحتوى داخلياً على مولد أسنان منشار Ramp يقوم بتحديد معدل تغير جهد الأساس V_S، وبالتالى يتحكم فى معدل تعجيل المحرك، حيث إن معدل تغير جهد أسنان المنشار بالنسبة للزمن يساوى:

$$V_r = \frac{Ir \times 10^{-6}}{C_S} \quad V/S$$

وزمن تعجيل المحرك ta يساوى:

$$t_a = \frac{\Delta V_S}{V_r}$$

حيث إن:

V_r معدل تغير جهد أسنان المنشار Ramp.

Ir تيار مصدر التيار الداخلى ويساوى 30μA.

C_S المكثف الموصل بالرجل 9.

ΔV_S التغير فى جهد الأساس.

t_a زمن تعجيل المحرك بالثابتة.

علماً بان عرض نبضات إشعال الترياك تتحدد بقيم C_1, R_1، فعندما يكون

$$R_1 = 200K\Omega \pm 5\%\ ,\ C_2 = 47nF \pm 10\%$$

فإن عرض نبضة الإشعال يساوى 70μS وزمن إعادة الإشعال 100μS، ويتحكم فى ذلك دائرة توقيت نبضات داخلية.

الباب الثامن

دوائر التحكم فى المحركات

الاستنتاجية الأحادية الوجه

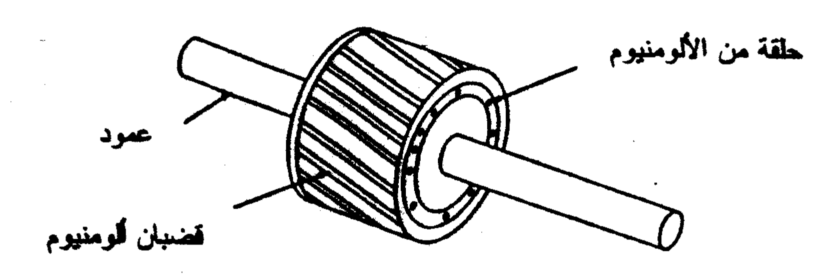
دوائر التحكم فى المحركات الاستنتاجية الأحادية الوجه

٨ / ١ - المحركات الاستنتاجية الأحادية الوجه :

Single phase Induction Motors

تستخدم المحركات الاستنتاجية الاحادية الوجه فى الأماكن السكنية والتجارية لتوفر مصدر الجهد الاحادى الوجه، وذلك فى إدارة المراوح والمكيفات والثلاجات والغسالات والمجففات.... إلخ، وعادة فإن هذه المحركات تتواجد بقدرات أقل من 15HP، وأكثر المحركات الاستنتاجية الاحادية الوجه انتشاراً المحركات الاستنتاجية ذات القفص السنجابى Squirrel - Cage .

والشكل (٨ - ١) يبين شكل العضو الدوار لهذه المحركات.



الشكل (٨ - ١)

ويصنع العضو الدوار من قضبان من الالومنيوم على شكل قفص اسطوانى وتقصر هذه القضبان فى نهايتيها بحلقتين من الالومنيوم ولا يوجد عازل بين هذه القضبان لصغر الجهد المتولد بينهم وتدفن هذه القضبان داخل قلب مغناطيسى من الحديد السليكونى ويثبت هذا العضو الدوار على عمود معدنى Shaft .

أما العضو الثابت فيكون على شكل اسطوانة مفرغة من الداخل ويشكل السطح الداخلى لها للحصول على أسنان Teeth ومجارى Slots ويدفن فى هذه المجارى ملفات المحرك.

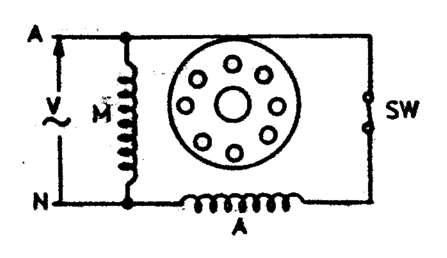
وهناك عدة أنواع من المحركات الاستنتاجية الأحادية الوجه مثل:

١ – محركات الوجه المشقوق Split Phase.

٢ – محركات نوع المكثف Capacitor type winding.

٨ / ١ / ١ – محركات الوجه المشقوق:

وتحتوى هذه المحركات على ملفين **الأول** يسمى بالملف الرئيسى Main Winding (M)، **والثانى** يسمى بالملف الثانوى Auxilary Winding (A)، ويتم توصيل الملف الثانوى مع مفتاح طارد مركزى Centrifugal Switch (SW) (مثبت على العضو الدوار للمحرك) كما بالشكل (٨ – ٢).



الشكل (٨ – ٢)

ويكون المجال المغناطيسى المتولد من الملف الرئيسى M متعامداً مع المجال الرئيسى المتولد من الملف الثانوى، وعند توصيل التيار الكهربى بالمحرك يتولد مجال دوار (وهو محصلة المجال المغناطيسى للملفين)، ويدور هذا المجال فى فراغ الآلة فيدور القفص السنجابى وبمجرد وصول سرعة المحرك إلى 75% من السرعة المقننة يفتح المفتاح الطارد المركزى (SW) ريشته، فينفصل الملف الثانوى عن المصدر الكهربى ويستمر العضو الدوار فى الدوران.

والجدير بالذكر أنه لولا الملف الثانوى لما استطاع المحرك البدء؛ وذلك لأن المجال المغناطيسى المتولد من الملف الرئيسى هو مجال نبضى، أى يزداد ويتناقص فى مكانه ولا يدور وقد قادر على إدارة العضو الدوار، ويعاب على محركات الوجه المشقوق بأن عزم بدئها صغير مقارنة بمحركات البدء بالمكثف.

٨ / ١ / ٢ – المحركات نوع المكثف:

لا يختلف تركيب المحركات نوع المكثف عن محركات ذات الوجه المشقوق إلا فى توصيل مكثف بالتوالى مع الملف الثانوى.

والشكل (٨ - ٣) يبين عدة دوائر للمحركات نوع المكثف والمتوفرة فى الأسواق .

فالشكل أ يبين محركاً استنتاجياً بمكثف دائم C_R، حيث إن الملف الثانوى يظل موصلاً بالمصدر الكهربى طوال فترة تشغيل المحرك .

والشكل ب يبين محركاً استنتاجياً بمكثف بدء C_S، علماً بأن الملف الثانوى A يخرج من الدائرة بواسطة المفتاح الطارد المركزى S_W عند وصول سرعة المحرك إلى 75% من السرعة المقننة .

والشكل جـ يبين محركاً استنتاجياً له مكثفان، **الأول** يسمى مكثف بدء C_S **والثانى** يسمى مكثف تشغيل C_R، علماً بأن المكثفين يوصلان معاً على التوازى لزيادة السعة الكلية لها، وبالتالى زيادة عزم البدء ويخرج مكثف البدء بواسطة المفتاح الطارد المركزى S_W بمجرد وصول سرعة المحرك إلى 75% من السرعة المقننة، وتستخدم المحركات الاستنتاجية ذات المكثف فى تشغيل الضواغط والمضخات ومكيفات الهواء والمعدات الأخرى التى تبدأ حركتها وهى محملة .

A
V
M
CR
N
A
(أ)

A
V
M
SW
CS
N
A
(ب)

A
V
M
SW
CR
CS
N
A
(ج)

الشكل (٨ - ٣)

ملاحظات :

١ – يصل عزم بدء المحرك الاستنتاجى ذى المكثف إلى %200 : %150 من عزم الحمل الكامل.

٢ – يمكن عكس اتجاه دوران المحرك الاستنتاجى الأحادى الوجه بعكس أطراف الملف الثانوى مع تثبيت أطراف الملف الرئيسى أو العكس.

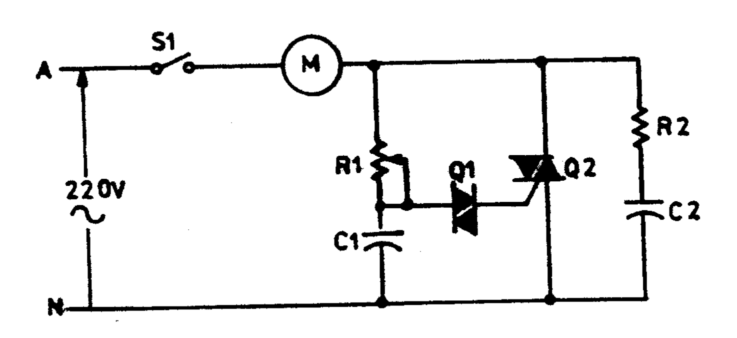
٣ – كلما ازداد الحمل على المحركات الاستنتاجية الأحادية الوجه انخفضت سرعتها وازداد تيارها.

٤ – كلما ازداد جهد أطراف المحرك ازدادت سرعة المحرك، والعكس بالعكس.

٨ / ٢ – الدوائر العملية للتحكم فى المحركات الاستنتاجية الأحادية الوجه :

الدائرة رقم 1 :

الشكل (٨ – ٤) يعرض دائرة تحكم عملية فى محرك استنتاجى أحادى الوجه.



الشكل (٨ – ٤)

عناصر الدائرة:

R_1 مقاومة متغيرة 75KΩ وقدرتها 2W.

R_2 مقاومة 100Ω وقدرتها 0.5Ω.

C_1 مكثف كيميائى سعته 0.1μF وجهده 100VAC.

C_2 مكثف كيميائى سعته 0.22µF وجهده 400VAC .

Q_1 دياك طراز D3202U .

Q_2 ترياك طراز T2700D .

نظرية التشغيل :

تتحكم المقاومة R_1 والمكثف C_1 فى زاوية إشعال الترياك Q_2، فكلما ازدادت قيمة R_1 ازداد الزمن اللازم لشحن المكثف C_1 للجهد المطلوب لإشعال الدياك Q_1، والذى يساوى 35V تقريباً عنده يشتعل الدياك، وتصل نبضة جهد 5V عبر الدياك من المكثف C_1 لبوابة الترياك Q_2، تعمل على إشعاله أيضاً بزاوية إشعال كبيرة، فيقل جهد أطراف المحرك وتقل سرعته، وكلما قلت قيمة R_1 يقل الزمن اللازم لشحن المكثف C_1 للجهد المطلوب لإشعال الدياك، وتباعاً لإشعال الترياك وتقل زاوية إشعال الترياك وتزداد سرعة المحرك .

الدائرة رقم 2 :

الشكل (٨ – ٥) يبين دائرة التحكم فى محرك استنتاجى أحادى الوجه، يستخدم فى غلق وفتح أحد الصمامات الكهربية المستخدمة فى العمليات الصناعية .

عناصر الدائرة

R_1 مقاومة متغيرة 1KΩ .

R_2 مقاومة كربونية 100KΩ .

R_3 مقاومة كربونية 100KΩ .

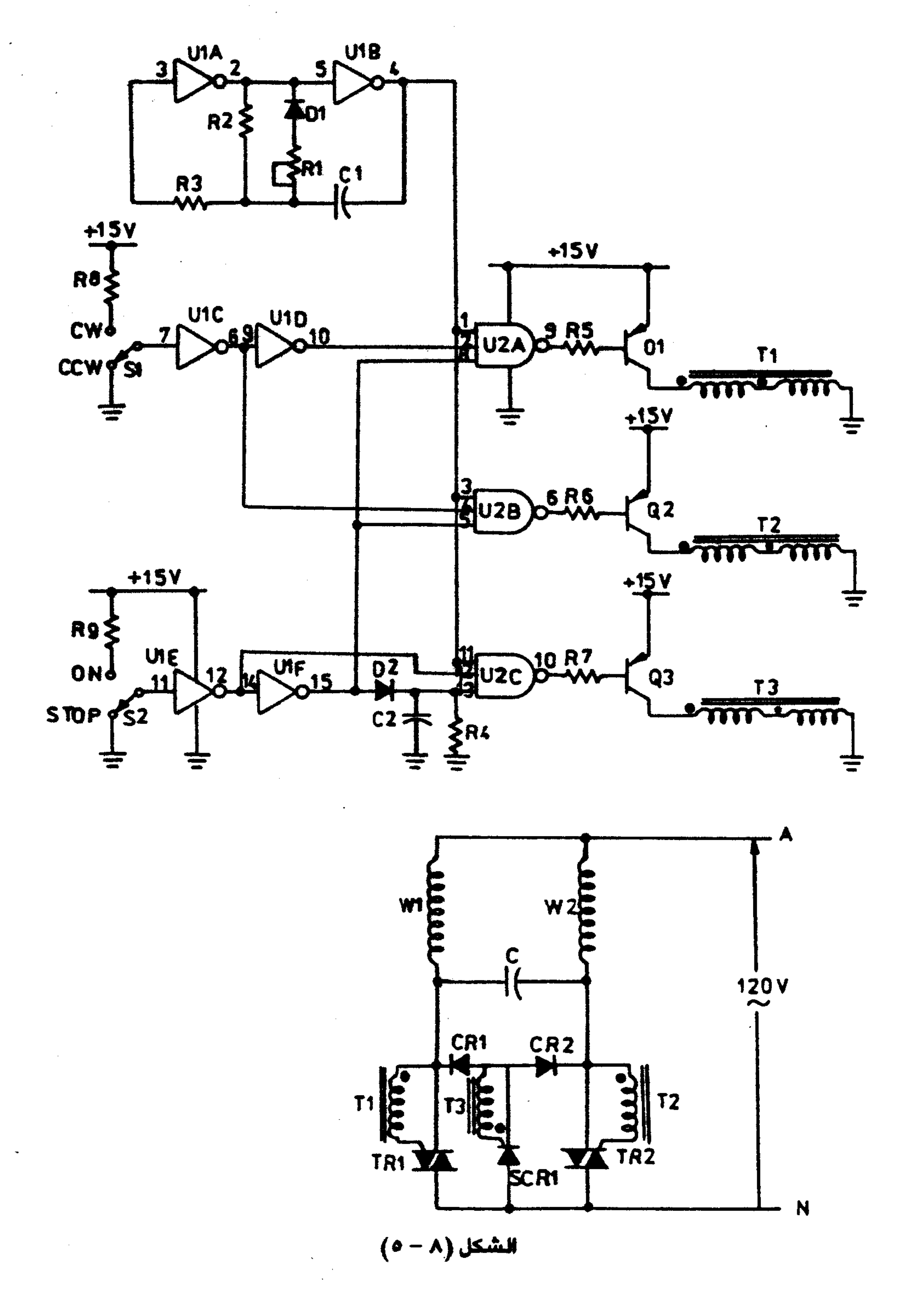
R_4 مقاومة كربونية 1MΩ .

R_5 - R_7 مقاومة كربونية 2.2KΩ .

R_8, R_9 مقاومة كربونية 10KΩ .

C_1 مكثف كيميائى سعته 0.001µF وجهده 16V .

C_2	مكثف كيميائى سعته 1µF وجهده 16V.
D_1, D_2	ثنائيات سليكونية طراز 1N914.
CR_1, CR_2	ثنائيات سليكونية طراز 1N4004.
$Q_1 - Q_3$	ترانزستورات PNP طراز MP56533.
TR_1, TR_2	ترياكات طراز 4 - MAC11.
U_1	دائرة متكاملة تحتوى على 6 عواكس طراز MC4049.
U_2	دائرة متكاملة تحتوى على 4 بوابات NAND طراز MC4023.
$T_1 - T_3$	محولات نبضات طراز SPRAGUE 11Z200.
SCR_1	ثايرستور طراز 2N4444.
S_1, S_2	مفتاحان قطب واحد سكتين.
M	محرك استنتاجي أحادى الوجه بمكثف له ملفان متماثلان رئيسى وثانوى.



U1A
U1B
D1
R1
R2
R3
C1
+15V
R8
CW
CCW
S1
U1C
U1D
U2A
U2B
U2C
R5
R6
R7
Q1
Q2
Q3
T1
T2
T3
R9
ON
STOP
S2
U1E
U1F
D2
C2
R4
A
N
W1
W2
C
120V
CR1
CR2
TR1
TR2
SCR1

الشكل (٨ – ٥)

نظرية التشغيل:

يمكن اختيار اتجاه الدوران بواسطة المفتاح S_1، فإذا كان على الوضع CCW يكون الدوران فى عكس اتجاه عقارب الساعة، وإذا كان على الوضع CW يكون الدوران فى اتجاه عقارب الساعة.

وعند وضع المفتاح S_2 على وضع ON تعمل البوابتان U1A,U1B كمذبذب لا مستقر.

فعند وضع المفتاح S_1 على وضع CW ووضع المفتاح S_2 على وضع ON يصبح خرج البوابة U2A هو معكوس خرج المذبذب اللامستقر، وتنتقل هذه النبضات عبر الترانزستور Q_1 ومحول النبضات T_1 لبوابة الترياك TR_1 فيدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة، حيث يصبح الملف W_2 هو الملف الرئيسى والملف W_1 هو الملف الثانوى.

وعند وضع المفتاح S_1 على وضع CCW ووضع المفتاح S_2 على وضع ON يصبح خرج للبوابة U2B هو معكوس خرج المذبذب اللامستقر، وتنتقل هذه النبضات عبر الترانزستور Q_2 ومحول النبضات T_2 لبوابة التريك TR_2 فيدور المحرك فى عكس اتجاه عقارب الساعة، حيث يصبح الملف W_1 هو الملف الرئيسى، والملف W_2 هو الملف الثانوى.

وعند وضع المفتاح S_2 على وضع Stop يصبح خرج البوابة U2C هو معكوس خرج المذبذب اللامستقر، وتنتقل هذه النبضات عبر الترانزستور Q_3 ومحول النبضات T_3 لبوابة الثايرستور SCR_1 فيحدث فرملة للمحرك نتيجة لحقن تيار مستمر فى الملفين W_1, W_2 بواسطة الثنائيين CR_1,CR_2 ، علماً بأن زمن وصول النبضات لبوابة الثايرستور يساوى:

$$t = R_4C_2 = 10^6 \times 10^{-6} = 1S$$

بعدها ينقطع وصول النبضات لبوابة الثايرستور SCR_1 فينطفئ الثايرستور.

والجدير بالذكر انه لو سمح لوصول النبضات للثايرستور بصفة مستديمة أثناء توقف المحرك فإن ذلك سيرفع درجة حرارة المحرك بالدرجة التى تؤدى لاحتراق ملفاته، كما أن ثانية واحدة 1S كاف جداً لإحداث فرملة للمحرك.

ويمكن التحكم فى سرعة المحرك بالتحكم فى قيمة المقاومة R_1، حيث إن هذه المقاومة تتحكم فى تردد المذبذب اللامستقر المؤلف من العواكس (U1A,U1B)،

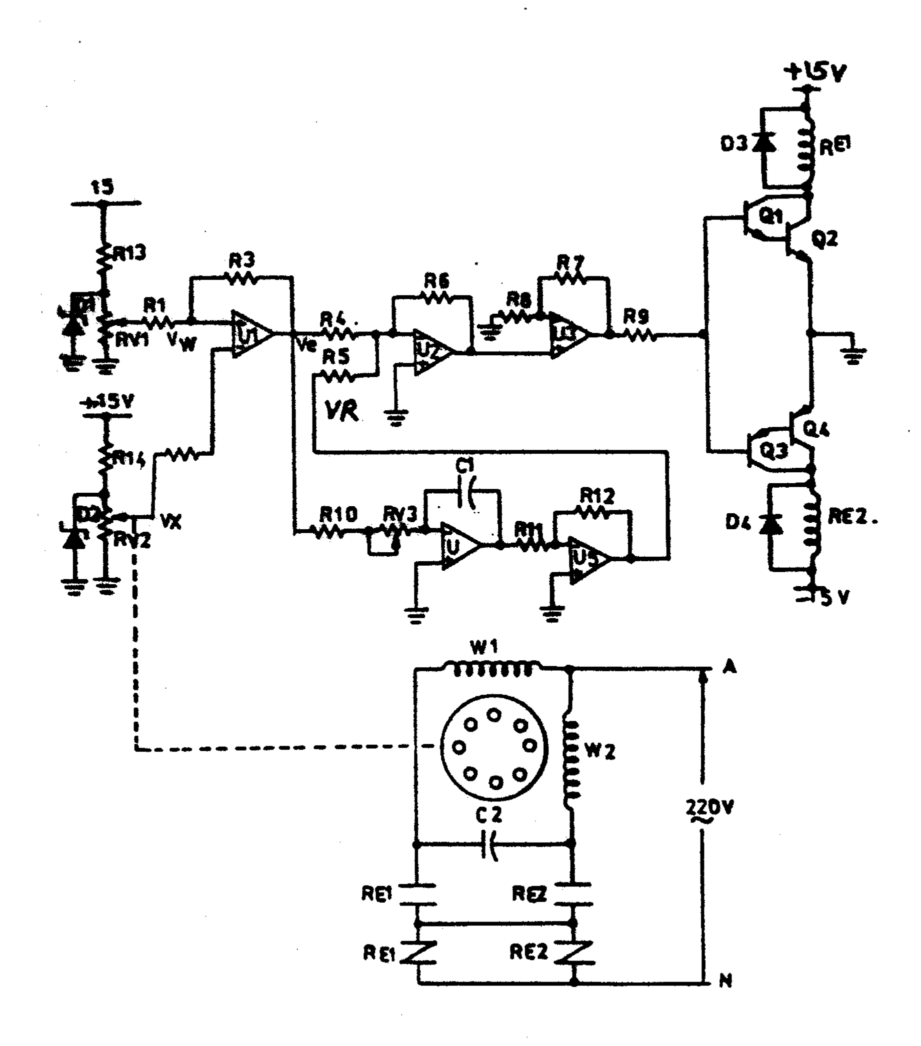
فكلما ازداد تردد هذا المذبذب فإن ذلك يؤدى للاشتعال المبكر للترياكات، مما يرفع من قيمة الجهد المسلط على أطراف المحرك فتزداد سرعته، والعكس بالعكس.

الدائرة رقم 3 :

الشكل (٨-٦) يعرض دائرة تحكم مغلقة **Close Loop** بمنظم تناسبى تكاملى PI للتحكم فى صمام تحكم فى تدفق **Flow Control valve** ، يعمل بمحرك استنتاجى وجه واحد.

عناصر الدائرة:

- R_1 - R_4 مقاومة كربونية 10KΩ
- R_5 مقاومة كربونية 82KΩ
- R_6 مقاومة كربونية 10KΩ.
- R_7 مقاومة كربونية 100KΩ.
- R_8 مقاومة كربونية 1KΩ.
- R_9,R_{11}, R_{12} مقاومة كربونية 10KΩ.
- R_{10} مقاومة كربونية 51KΩ.
- R_{13}, R_{14} مقاومات كربونية 150Ω وقدرتها 1W .
- C_1 مكثف كيميائى 10µF وجهده I5VDC.
- C_2 مكثف كيميائى 2µF وجهده I5VDC.
- D_1, D_2 ثنائيات زينر جهدها 3.5V وقدرتها 1W.
- D_3, D_4 ثنائى سليكونى طراز 1N4001.
- Q_1 ترانزستور NPN طراز BC 184L
- Q_2 ترانزستور PNP طراز TI P31A.
- Q_3 ترانزستور NPN طراز BC214L.
- Q_4 ترانزستور PNP طراز TIP32A.
- U_1- U_5 ومكبرات عمليات طراز 741.
- RE_1, RE_2 ريلاهات تعمل عند جهد 15V ومقاومتها لا تقل عن 30Ω.
- M محرك استنتاجى أحادى الوجه له ملفان متماثلان وقدرة أقل من 1KW.



الشكل (٨-٦)

نظرية التشغيل:

يمكن تحديد التدفق المطلوب لصمام التدفق بواسطة مجزئ الجهد RV_1، ونحصل على تغذية مرتدة من المحرك من مجزئ جهد دوار RV_2 مثبت على عمود إدارة محرك الصمام، ويقوم المكبر الفرقي U_1 بتعيين جهد الخطأ والذى يساوى:

$$V_e = V_W - V_X \rightarrow \quad 8.1$$

حيث إن :

V_W هو جهد الأساس والمقابل للتدفق المطلوب .

V_X هو جهد التغذية المرتدة والمقابل للتدفق الفعلى .

فعندما تكون V_e (جهد الخطأ) موجبة فإن خرج المكامل U_4 يساوى :

$$= \frac{-1}{(RV_3 + R_{10})\,C_1} \cdot V_e \cdot t$$

حيث يزداد خرج هذا المكامل مع الزمن، ويكون خرج العاكس U_5 مساوياً:

$$V_R = \frac{1}{(RV_3 + R_{10})\,C_1} \; V_e \cdot t$$

وبالتالى يكون خرج المكبر الجامع العاكس U_2 مساوياً:

$$= -1 \left(\frac{R_6}{R_4} \; V_e + \frac{R_6}{R_5} \; V_R \right)$$

ويكون خرجه سالباً ويكون خرج المكبر الغير عاكس U_3 أكثر سالبية، وبالتالى يعمل Q_3, Q_4 ويمر التيار الكهربى فى الريلاى R_2 فتفتح ريشة الريلاى المغلقة وتغلق ريشته المفتوحة فيدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة، حيث يصبح الملف W_2 ملفاً رئيساً والملف W_1 ملفاً ثانويا (لأنه بالتوالى مع المكثف C_2).

والجدير بالذكر ان الجهد V_R يزداد مع الزمن، وعندما يصبح جهد الخطأ V_e مساوياً الصفر فى هذه الحالة تثبت قيمة V_R . علماً بأن وجود المكامل U_4 يساعد على الوصول للتدفق المطلوب بدون خطأ. فمن المعروف ان الحاكم التناسبى لا يمكنه الوصول بالخطأ للصفر بمفرده. ولمزيد من التفاصيل ارجع لكتاب التحكم الإلكترونى فى الآلات الكهربية والعمليات الصناعية.

وعندما تكون قيمة الخطأ V_e بالسالب فإن V_R سيكون سالباً هو الآخر، وبالتالى يصبح خرج الجامع U_2 موجباً، ويكون خرج المكبر العاكس U_3 موجباً هو الآخر، ولكن بقيمة أكبر فيتحول Q_2 و Q_1 لحالة الوصل، ويمر التيار الكهربى فى الريلاى RE_1، وتنعكس حالة ريش هذا الريلاى فتغلق الريشة المفتوحة وتفتح الريشة المغلقة، وينعكس اتجاه دوران المحرك وذلك لان الملف W_1 سيصبح الملف الرئيسى والملف W_2 سيصبح الملف الثانوى؛ لانه سيكون بالتوالى مع المكثف.

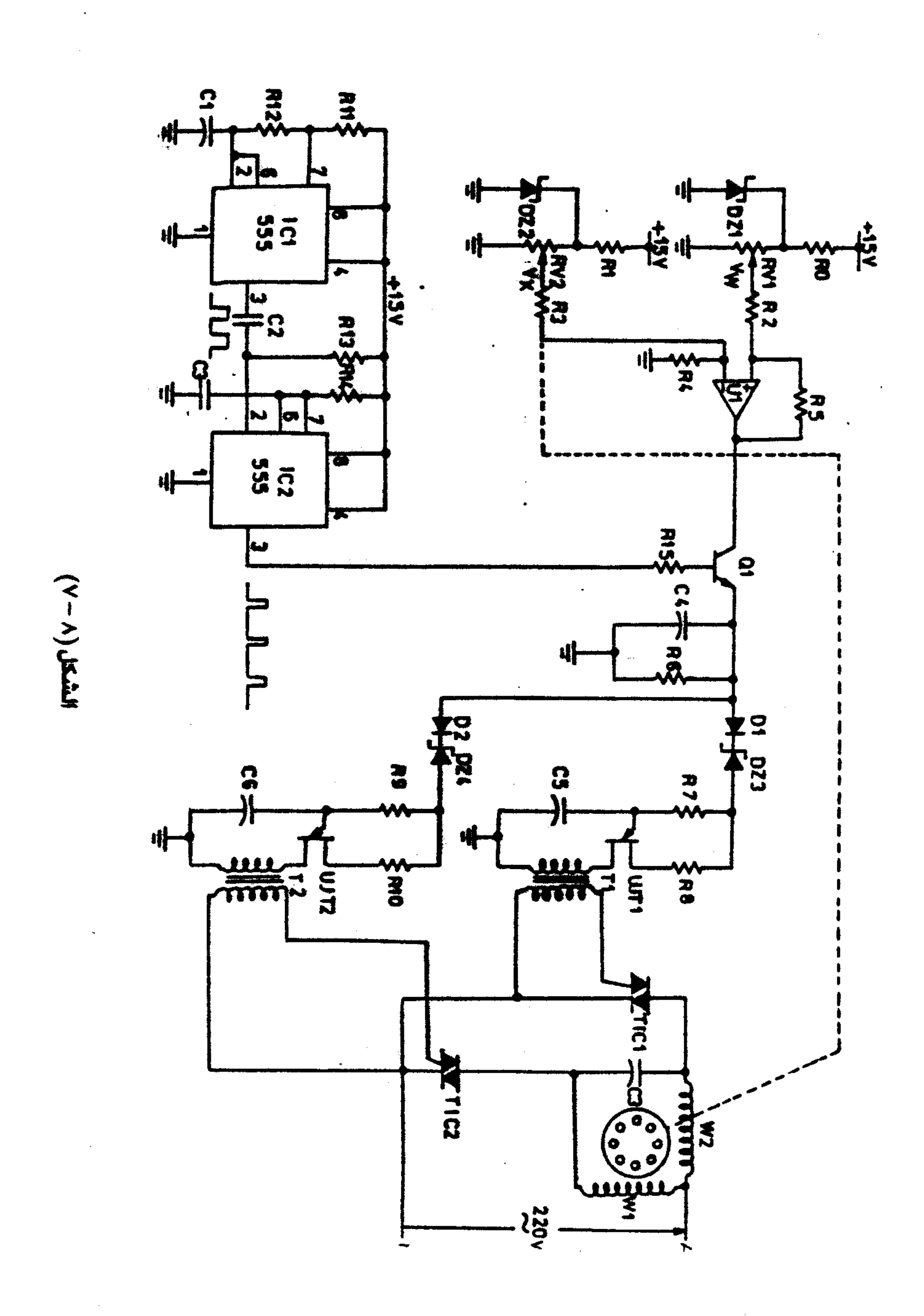
الدائرة رقم 4 :

الشكل (٨-٧) يعرض دائرة التحكم فى صمام تدفق مولاس لاحد مصانع أعلاف المواشى.

عناصر الدائرة:

R_0, R_1	مقاومات كربونية 330Ω
RV_1	مجزى جهد 1KΩ
RV_2	مجزى جهد دوار 1KΩ
R_2 - R_4	مقاومات كربونية 5KΩ
R_5	مقاومة كربونية 200KΩ
R_6	مقاومة كربونية 4KΩ
R_7 , R_9	مقاومات كربونية 100KΩ
R_8 , R_{10}	مقاومة كربونية 470 Ω
R_{11}	مقاومة كربونية 1MΩ
R_{12}	مقاومة كربونية 0.8MΩ

R_{13}	مقاومة كربونية 2.2KΩ
R_{14}	مقاومة كربونية 10KΩ
R_{15}	مقاومة كربونية 1.5KΩ
C_1	مكثف كيميائى سعته 100μF وجهده 25V.
C_2,C_3	مكثفات سيراميك 1onF .
C_4	مكثف كيميائى سعته 250μF وجهده 25V .
C_5,C_6	مكثفات كيميائية سعتها 5nF وجهدها 16V
DZ_1, DZ_2	ثنائيات زينر جهدها 5.1V وقدرتها 1W
DZ_3, DZ_4	ثنائيات زينر جهدها 1.5V وقدرتها 0.5W
D_1, D_2	ثنائيات لها فقد جهد أمامى V_F يساوى 0.6V وتيارها 1A .
TIC_1, TIC_2	ترياكات تختار حسب قدرة المحرك .
Q_1	ترانزستور NPN طراز 2N3903
UJT_1, UJT_2	ترانزستور أحادى الوصلة طراز 2N5431
IC_1, IC_2	مؤقتات زمنية طراز 555
U_1	مكبر عمليات طراز 741 .
T_1,T_2	محولات نبضات لها نسبة تحويل 1:1
M	محرك استنتاجى بمكثف بملفين متماثلين.


IC1
555
IC2
555
C1
C2
C3
C4
C5
C6
R11
R12
R13
R14
R15
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
RV1
RV2
DZ1
DZ2
DZ3
DZ4
D1
D2
+15V
U1
Q1
T1
T2
UJT1
UJT2
TIC1
TIC2
W1
W2
220V

الشكل (٨-٧)

نظرية التشغيل:

يمكن تحديد التدفق المطلوب لصمام التدفق بواسطة مجزىء الجهد RV_1، ونحصل على تغذية مرتدة من المحرك من مجزىء الجهد الدوار RV_2 المثبت على عمود إدارة محرك صمام، ويقوم المكبر الفرقى U_1 بتعيين جهد الخطأ والذى يساوى:

$$V_e = \frac{200}{5} (V_W - V_X)$$

$$V_e = 40 (V_W - V_X)$$

حيث إن :

V_W هو جهد الأساس والمقابل للتدفق المطلوب.

V_X هو جهد التغذية المرتدة والمقابل للتدفق الفعلى.

V_e جهد الخطأ.

والجدير بالذكر أن خرج هذا المكبر لن يتعدى $\pm 13V$ لتشبع المكبر. ويقوم المذبذب المؤلف من المؤقتين IC_1, IC_2 بإخراج نبضة كل ثلاث دقائق زمنها يساوى 110ms ، حيث يعمل المذبذب اللامستقر المؤلف من IC_1 بإخراج تردد يساوى:

$$F = \frac{1.44}{C_1 (R_{11} + 2R_{12})} = 0.0055HZ$$

أى أن زمن النبضة يساوى:

$$T = \frac{1}{F} = \frac{1}{0.0055} = 3min$$

أما المذبذب الاحادى الاستقرار المؤلف من IC_2 والذى يعمل عند الحافة الهابطة يكون زمن نبضته مساوياً:

$$T = 1.1 R_{14} C_3$$

$$T = 110 mS$$

فيتحول Q_1 لحالة الوصل خلال 110S ويتحول لحالة القطع حوالى 3min، وأثناء

فترة الوصل يشحن المكثف C_4 وصولا لجهد الخطأ Ve . وأثناء فترة قطع الترانزستور Q_1 يفرغ المكثف C_4 شحنته فى المقاومة R_6.

وعندما يكون الجهد أكبر من 3V+ يعمل المذبذب المتراخى المؤلف من UJT_1 وتصل النبضات عبر محول النبضات T_1 للترياك TIC_1، ويدور المحرك فى اتجاه عقارب الساعة، حيث إن W_2 أصبح الملف الرئيسى أما W_1 فقد أصبح الملف الثانوى.

وعندما يكون الجهد على أطراف المكثف أصغر من 3V- يعمل المذبذب المتراخى المؤلف من UJT_2 فتصل نبضات عبر محول النبضات T_2 للتريك TIC_2، ويدور المحرك فى عكس اتجاه عقارب الساعة، حيث إن الملف W_1 أصبح الملف الرئيسى والملف W_2 أصبح الملف الثانوى.

والجدير بالذكر أن تردد المذبذبات المتراخية يساوى:

$$F = \frac{1}{R_8 C_3} = \frac{1}{R_{10} C_4} = 2KHZ$$

وهذا يعمل عند وصول نبضات بتردد عالى لبوابة الترياكات، مما يعمل على تحول الترياكات لحالة الوصل بمجرد عبور موجة المصدر المتردد بالصفر.

علماً بأن ثابت تفريغ المكثف C_4 يساوى:

$$T = R_6 C_4 = 1S$$

وبالتالى يحتاج المكثف C_4 زمناً يساوى خمس مرات تقريبا من ثابت الزمن للتفريغ الكامل، وخلال هذا الزمن يدور المحرك سواء جهة عقارب الساعة أو عكس اتجاه عقارب الساعة لضبط وضع الصمام.

ويستمر دوران محرك الصمام حتى تصبح إشارة الخطأ Ve مساوية الصفر فيتوقف دوران المحرك، وهذا يعنى الوصول للتدفق المطلوب.

الباب التاسع

دوائر التحكم فى المحركات المؤازرة

دوائر التحكم فى المحركات المؤازرة

٩ / ١ - مقدمة:

هناك تطبيقات تحتاج لتحكم دقيق فى السرعة والموضع مع عزم عالٍ. على سبيل المثال: الروبتات الآلية Robets تحتاج لمحركات مؤازرة بتيار مستمر أو تيار متردد.

وتختلف المحركات المؤازرة عن المحركات المعتادة فى عدة أمور مثل:

١- المحرك المؤازر يعطى عزماً عالياً عند جميع السرعات.

٢- المحرك المؤازر لا يتحرك عند وضع السكون بفعل القصور الذاتى للحمل.

٣- عند السرعات المنخفضة وعند السكون لا ترتفع درجة حرارة المحركات المؤازرة.

٤- المحركات المؤازرة قادرة للعودة للوضع المطلوب بدون انحراف.

٥- يمكن عكس حركة المحركات المؤازرة بسرعة.

٦- المحركات المؤازرة يمكن بسهولة رفع سرعتها أو إنقاصها.

وهناك عدة أسباب تدعو لاستخدام الأنظمة المؤازرة بصفة عامة مثل:

١- نقل الأجسام الثقيلة من مكان لآخر وذلك بالتحكم من بعد.

٢- نقل الأجسام الخطيرة التى يخشى على الإنسان التعامل معها.

٣- نقل الأجسام فى الأماكن الخطرة والتى يخشى على الإنسان الاقتراب منها.

٩ / ٢- المحركات المؤازرة العاملة بالتيار المتردد Ac Servo Motors :

إن المحركات المؤازرة العاملة بالتيار المتردد هى محركات استنتاجية أحادية الوجه بمكثف، مع تعديل خاص فى شكل العضو الدوار والعضو الثابت.

والشكل (٩-١) يعرض دائرة محرك مؤازر، يعمل بالتيار المتردد. وهو يتكون من ملفين: **الأول** يسمى بالملف الرئيسى ويوصل بالجهد المتردد والذى له قيمة ثابتة V_S، **والثانى** يسمى بملف التحكم ويوصل بمكبر الكترونى دخله إشارة الخطأ Ve والتى تساوى الفرق بين جهد الأساس V_W والذى يقابل الوضع المطلوب وجهد

التغذية المرتدة V_X والتى تقابل الوضع الفعلى. ويستعان بعناصر تحويل إشارة الوضع مثل مجزئات الجهد الدوارة والتى تثبت على أعمدة المحركات المؤازرة لتحويل الحركة الزاوية إلى جهد، وخرج المكبر الالكترونى يسمى بجهد التحكم V_C .

وفيما يلى أهم الفروق بين المحركات المؤازرة العاملة بالتيار المتردد والمحركات الاستنتاجية الأحادية الوجه ذات المكثف :

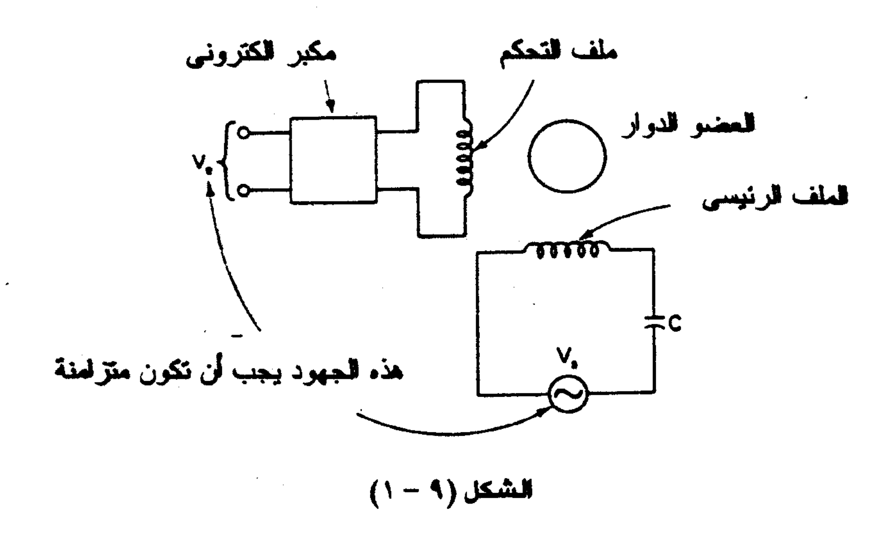
١- الملف الثانوى فى المحرك الاستنتاجى يقابله ملف التحكم فى المحرك المؤازر.

٢- قضبان العضو الدوار ذات القفص السنجابى للمحرك المؤازر يكون لها مقطع صغير، وبالتالى يكون لها مقاومة كبيرة.

٣- المحرك المؤازر يمكن تغذيته بالتيار الكهربى حتى عند السكون للحصول على عزم فرملى لمنع تحرك المحرك بفعل الحمل الخارجى عن الموضع المطلوب وبدون ارتفاع درجة حرارته.

٤- يتم التحكم فى ملف التحكم للمحرك المؤازر بحواكم الكترونية يعتمد خرجها على الحالة اللحظية لوضع المحرك.

٥- يتم توصيل الملف الرئيسى للمحرك المؤازر بجهد متردد ثابت القيمة.



الشكل (٩ - ١)

نظرية عمل المحرك المؤازر:

عندما يكون جهد الخطأ V_e الداخل على المكبر الالكترونى كبيراً فإن خرج المكبر والذى يمثل جهد التحكم V_c سيكون كبيرا هو الآخر، وبالتالى يزداد تيار ملف التحكم، وهذا سوف يؤدى لدوران المحرك المؤازر بسرعة عالية. وكلما قل الفرق فى الموضع المطلوب والموضع الحالى فإن جهد الخطأ V_e سيقل، وبالتالى يقل جهد التحكم V_c فيقل تيار ملف التحكم، وهذا يجعل المحرك يدور ببطء.

وعندما يكون وضع الجسم المراد تحريكه ينطبق على الوضع المطلوب فإن جهد الخطأ V_e سيساوى صفراً، وبالتالى يصبح خرج المكبر الالكترونى V_c مساوياً الصفر، وبالتالى يتوقف المحرك عند الوضع المطلوب، وهذا يمثل اختلافايين المحرك المؤازر والمحرك الاستنتاجى ذات المكثف لانه إذا تحقق ذلك للمحرك الاستنتاجى الأحادى الوجه فإنه سيستمر فى الدوران أثناء تغذية الملف الرئيسى بالجهد، وهذا هو سبب زيادة مقاومة قضبان العضو الدوار للمحركات المؤازرة، حيث يؤدى ذلك لمنع استمرار الدوار عندما يصبح جهد ملف التحكم صفراً.

والجدير بالذكر ان جهد الملف الرئيسى V_S وجهد إشارة الخطأ V_e يجب أن يكونا متزامنين، وبالتالى فإن الاختلاف فى الوجه بينهما سيصبح مساوياً صفراً أو $180°$. ويقوم المكثف C بعمل اختلاف فى الوجه بين جهد ملف التحكم V_c وجهد الملف الرئيسى مقداره 90 حتى يتولد عزم الدوران المطلوب.

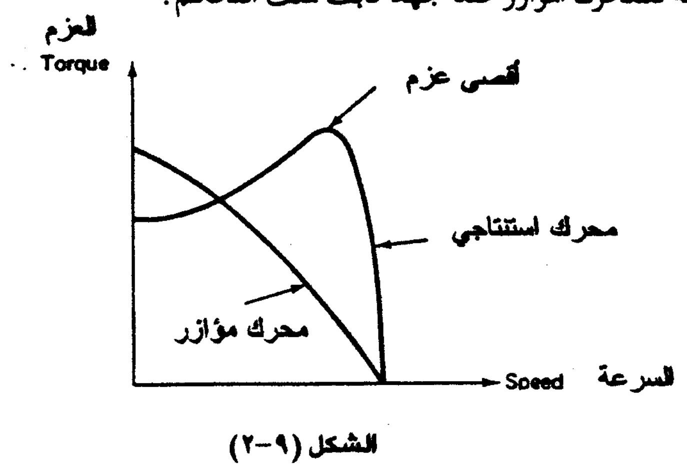
حالات تشغيل المحرك المؤازر:

١- إذا كان جهد الخطأ V_e فى نفس الوجه مع جهد الملف الرئيسى V_S فإن تيار ملف التحكم سوف يتأخر عن تيار الملف الرئيسى بزاوية $90°$ ، وبالتالى يدور المحرك المؤازر فى اتجاه عقارب الساعة.

٢- إذا كان الاختلاف فى الوجه بين جهد الخطأ V_e وجهد الملف الرئيسى V_S يساوى $180°$ فإن تيار ملف التحكم سوف يسبق تيار الملف الرئيسى بزاوية $90°$، وبالتالى يدور المحرك فى عكس اتجاه عقارب الساعة.

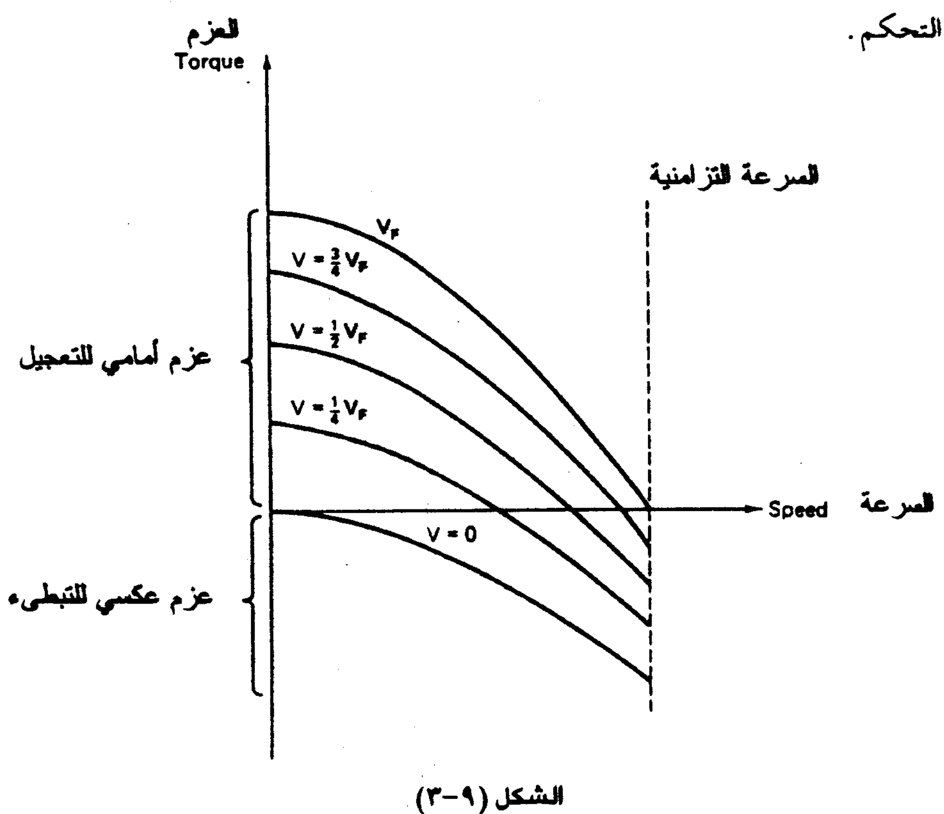
والشكل (٩-٢) يوضح الفرق بين منحنى العزم والسرعة لكل من المحرك المؤازر

والمحرك الاستنتاجي الاحادى الوجه ذات الوجه المشقوق، علماً بأن منحنى العزم والسرعة للمحرك المؤازر عند جهد ثابت لملف التحكم.



الشكل (٩-٢)

والشكل (٩-٣) يبين العلاقة بين العزم والسرعة عند جهود مختلفة لملف التحكم.



الشكل (٩-٣)

فيلاحظ أنه عند جهود ملف التحكم المنخفضة فإن المحرك المؤازر سوف يولد عزما معاكساً على العمود يمنع دورانه بفعل عزم القصور الذاتي للحمل.

فعند زيادة سرعة العضو الدوار عن السرعة المطلوبة نتيجة لعزم القصور الذاتي للحمل تتولد قوة دافعة كهربية عكسية فى ملف التحكم، وفى هذه الحالة يعمل هذا الملف كمولد وينعكس تياره 180° عن المفروض أن يكون عليه، وبالتالى يكون عزم المحرك مضاداً لاتجاه دورانه، وهذا يقلل من قفزات السرعة Over shoot، وهذا لا يعنى عدم تولد Over shoot فى المحركات المؤازرة لأنه فى بعض الأحيان لا يكون العزم المعاكس قادراً على التغلب على عزم القصور الذاتى للحمل، ويكون الحل فى هذه الحالات استخدام بعض طرق التخميد.

والجدير بالذكر أن المحركات المؤازرة العاملة بالتيار المتردد تفضل عن المحركات المؤازرة العاملة بالتيار المستمر فى عدة أمور، نذكر منها :

١- العضو الدوار نوع القفص السنجابى للمحركات المؤازرة AC أبسط وأقوى من عضو الاستنتاج الموجود فى المحركات المؤازرة DC.

٢- لا يوجد عزل بين قضبان العضو الدوار نوع القفص السنجابى، بعكس ماهو موجود فى عضو الاستنتاج، وهذا يجعل العضو الدوار للمحرك المؤازر AC قادرا على تشتيت الحرارة بطريقة أفضل.

٣- خلو العضو الدوار نوع القفص السنجابى من الفرش الكربونية وعضو التوحيد مما يقلل من الصيانة اللازمة للمحركات المؤازرة نوع AC.

٤- صغر قضبان العضو الدوار نوع القفص السنجابى يقلل من وزن العضو الدوار، ويمنع حدوث Over Shoot للمحركات المؤازرة نوع AC.

وعادة فإن المحركات المؤازرة DC تفضل عن المحركات المؤازرة AC عند القدرات العالية عن 100HP لارتفاع درجة حرارة العضو الدوار لها، الأمر الذى يدفع المصممين لاستخدام محركات مؤازرة DC عند القدرات العالية. وتتكون دوائر التحكم فى المحركات المؤازرة AC من ثلاث دوائر فرعية وهى:

١- دائرة توليد إشارة الخطأ.

٢- دائرة التحكم فى مكبر الدفع والجذب Push - Pull Amplifier .

٣- مكبر دفع وجذب Push - Pull Amplifier .

حيث يدخل خرج دائرة توليد إشارة الخطأ على دائرة التحكم فى مكبر الدفع والجذب والتى تعمل على إحداث إزاحة وجهية لاشارة الخطأ 90^0 ثم تكبير إشارة الخطأ المزاحة، ويستخدم خرج هذه الدائرة فى التحكم فى مكبر الدفع والجذب وخرج المكبر يغذى ملف التحكم للمحرك المؤازر .

٩ / ٣- محولات إشارة الموضع Displacement Transducer

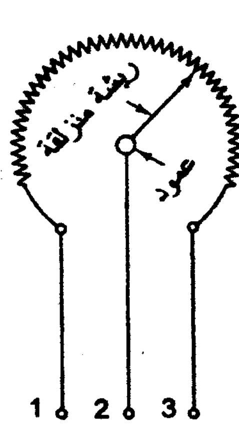
وهذه الأجهزة تقوم بتحويل إشارة الموضع للأنظمة المؤازرة إلى جهد كهربى، وسوف نتناول فى هذه الفقرة كلا من:

١- محولات الحركة الزاوية Angular Displacement Transducer .

٢- محولات الإزاحة الخطية Linear Displacement Transducer .

أولاً : محولات الحركة الزاوية :

يعتبر مجزئ الجهد الدوار من أهم محولات الحركة الزاوية المعروفة وأبسطها . والشكل (٩-٤) يبين رمز مجزئ الجهد الدوار . فعند دوران عمود مجزئ الجهد فى اتجاه عقارب الساعة تتحرك الريشة المنزلقة بحيث تزداد المقاومة بين 2و1 . فى حين أنه عند دوران عمود مجزئ الجهد فى عكس اتجاه عقارب الساعة تتحرك الريشة المنزلقة بحيث تقل المقاومة بين 2و1 . وعند توصيل مصدر جهد مستمر مع النقاط 3و1 نحصل على مجزئ جهد دوار خرجه يتناسب طردياً مع الإزاحة الزاوية.

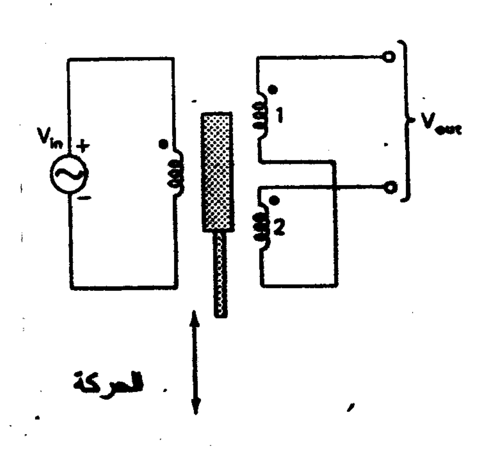


الشكل (٩ - ٤)

ثانياً : محولات الإزاحة الخطية :

من أشهر محولات الإزاحة الخطية هو محول الإزاحة الخطية التفاضلى (LVDT) . والشكل (٩-٥) يعرض تركيب محول

الإزاحة الخطية التفاضلى.



الشكل (٩ – ٥)

ويتكون هذا المحول من ملف ابتدائى وملفين ثانويين وقلب مغناطيسى متحرك، ويتم تغذية الملف الابتدائى بجهد متردد، تردده يتراوح ما بين (50HZ: 15KHZ) . ويتم توصيل للملفين الثانويين بالتوالى بحيث يكون خرجه LVDT صفراً عندما يكون القلب المغناطيسى فى المنتصف.

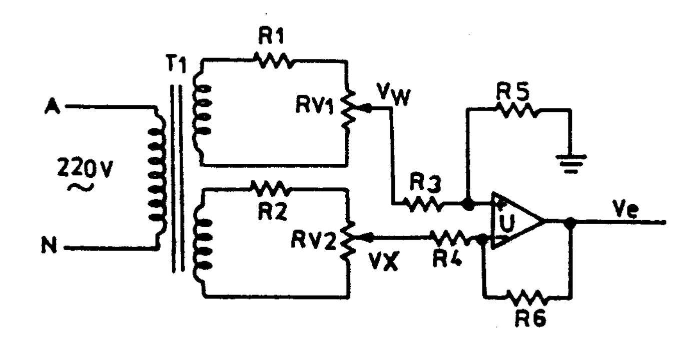
وعند إزاحة القلب المغناطيسى إلى أعلى أو أسفل يتولد جهد خرج نتيجة لتغير الحث المتبادل بين الملف الابتدائى والملفين الثانويين، وتزداد قيمة الجهد بزيادة الإزاحة.

والجدير بالذكر أن خرج LVDT يدخل على كاشف زاوية وجه Phase Detector الكترونى لتحديد زاوية الوجه، فإن كانت الحركة لأسفل فإن خرج كاشف زاوية الوجه يكون سالباً وبقيمة تتناسب طردياً مع مقدار الإزاحة، والعكس بالعكس.

٩ / ٤– الدوائر العملية للتحكم فى المحركات المؤازرة العاملة بالتيار المتردد:

الدائرة رقم 1:

الشكل (٩–٦) يعرض دائرة لتوليد إشارة الخطأ Ve والمقابلة لموضع عمود دوران محرك مؤازر، وذلك باستخدام مجزئ جهد دوار لتحويل الحركة الزاوية للمحرك المؤازر إلى جهد.



الشكل (٩-٦)

عناصر الدائرة:

R_1, R_2	مقاومات كربونية $33K\Omega$.
RV_1	مجزئ جهد $1K\Omega$.
RV_2	مجزئ جهد دوار يثبت على عمود دوران المحرك المؤازر $1K\Omega$.
R_3, R_4	مقاومات كربونية $10K\Omega$.
R_5, R_6	مقاومات كربونية $50K\Omega$.
U_1	مكبر عمليات طراز 741.
T_1	محول خفض بملفين ثانويين 220/1- 1V.

نظرية التشغيل:

يتم ضبط جهد الأساس V_W بواسطة مجزئ الجهد RV_1 ونحصل على الجهد المقابل للحركة الزاوية V_X من مجزئ الجهد الدوار RV_2 والمثبت على عمود المحرك المؤازر، فيكون خرج المكبر الفارق U_1 مساوياً:

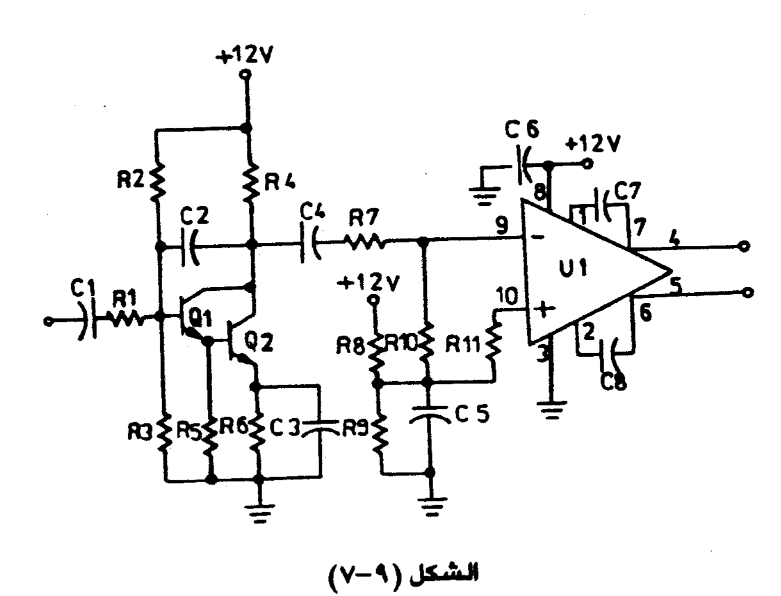
$$V_e = \frac{50000}{10000} \; (V_W - V_X)$$

$$= 5 \, (V_W - V_X)$$

والجدير بالذكر أن إشارة الخطأ تكون موجة جيبية تتفق مع جهد المصدر المتردد في الوجه إذا كان $V_W > V_X$، وتتأخر عن موجه المصدر المتردد بزاوية مقدارها $180°$ إذا كان $V_X>V_W$.

الدائرة رقم 2 :

الشكل (٩-٧) يعرض دائرة التحكم في مكبر دفع وجذب لمحرك مؤازر AC بمخرجين متتامين.



الشكل (٩-٧)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية $27K\Omega$
R_2	مقاومة كربونية $120K\Omega$
R_3	مقاومة كربونية $33K\Omega$.
R_4	مقاومة كربونية $1.5K\Omega$.
R_5	مقاومة كربونية $56K\ \Omega$.
R_6	مقاومة كربونية 560Ω.
R_7 - R_9	مقاومات كربونية $10K\Omega$.
R_{10}, R_{11}	مقاومات كربونية $100K\Omega$.
R_{12}	مقاومة كربونية $1M\Omega$.

C_1 مكثف كيميائى 10µF وجهده 15V .

C_2 مكثف كيميائى 0.1µF وجهده 15V .

C_3 ,C_6 مكثفات كيميائية 50µF وجهدها 15V .

C_4 ,C_5 مكثفات كيميائية 20µF وجهدها 15V .

C_7 ,C_8 مكثفات كيميائية 510PF وجهدها 15V .

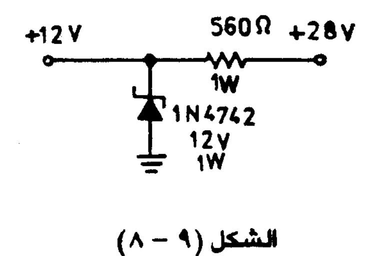
U_1 مكبر عمليات طراز MC1420 .

Q_1 ,Q_2 ترانزستورات NPN طراز 2N3904 .

نظرية التشغيل:

تعمل الدائرة المؤلفة من Q_1,Q_2 كمكامل، وذلك للحصول على إزاحة مقدارها 90° عن جهد المصدر، ويعمل مكبر العمليات U_1 كمكبر عاكس له معامل تكبير يساوى 100 تقريباً.

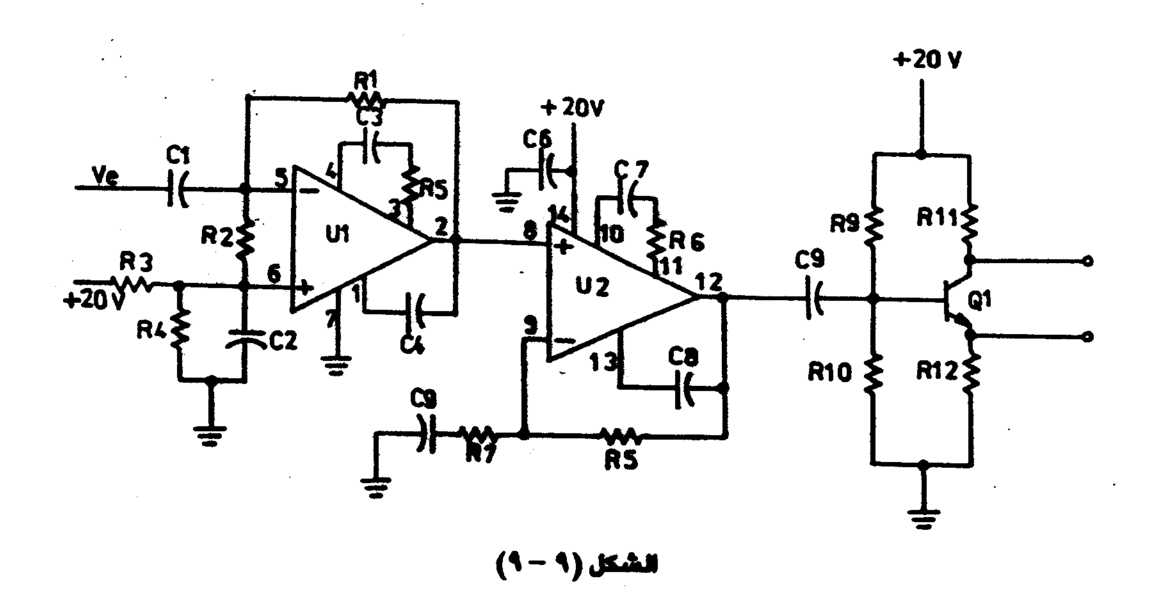
والجدير بالذكر أن العناصر C_6,C_7,C_8 تستخدم للمحافظة على استقرار مكبر العمليات وذلك كتوصية من الشركة المصنعة. ويمكن الحصول على جهد +12V من جهد 28V + (جهد مكبر القدرة) باستخدام ثنائى زينر، كما هو مبين الشكل (٩-٨).



الشكل (٩ - ٨)

الدائرة رقم 3:

الشكل (٩-٩) يعرض إحدى صور دوائر التحكم فى مكبر دفع وجذب لمحرك مؤازر AC بمخرجين متتامين.



الشكل (٩ - ٩)

عناصر الدائرة:

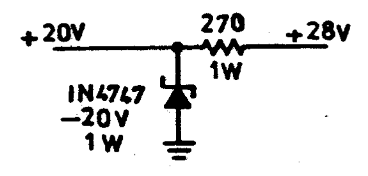
R_1	مقاومة كربونية 27KΩ
R_2	مقاومة كربونية 470Ω
R_3, R_4	مقاومة كربونية 56KΩ.
R_5, R_6	مقاومة كربونية 1.5KΩ.
R_7, R_{11}, R_{12}	مقاومة كربونية 1K Ω.
R_8	مقاومة كربونية 100kΩ.
R_9	مقاومة كربونية 22KΩ.
R_{10}	مقاومة كربونية 12kΩ.
C_1,C_6	مكثفات كيميائية 0.1μF وجهده 25V .
C_2 ,C_9	مكثفات كيميائية 20μF وجهده 25V .
C_3 ,C_7	مكثفات كيميائية 5nF وجهده 25V .
C_4 ,C_5,C_8	مكثفات كيميائية 220pF وجهده 25V .
Q_1	ترانزستور NPN طراز 2N3904
U_1 , U_2	دائرة متكاملة لمكبر عمليات طراز MC1437 .

نظرية التشغيل:

يعمل مكبر العمليات U_1 كمفاضل لموجة إشارة الخطأ، وذلك للحصول على إزاحة 90^o عن جهد المصدر، ويعمل مكبر العمليات U_1 كمكبر غير عاكس معامل تكبيره 100، ويتم تحويل الخرج المنفرد لهذا المكبر الغير عاكس بواسطة مكبر شق الوجه Phase Spliting إلى مخرجين متتامين، ويتألف مكبر شق الوجه من الترانزستور Q_1 والمقاومات R_9,R_{10},R_{11},R_{12} .

والجدير بالذكر أن العناصر C_3,C_4,C_5 وكذلك العناصر C_7,C_8,R_6 تستخدم للمحافظة على استقرار عمل مكبر العمليات كتوصية من الشركة المصنعة.

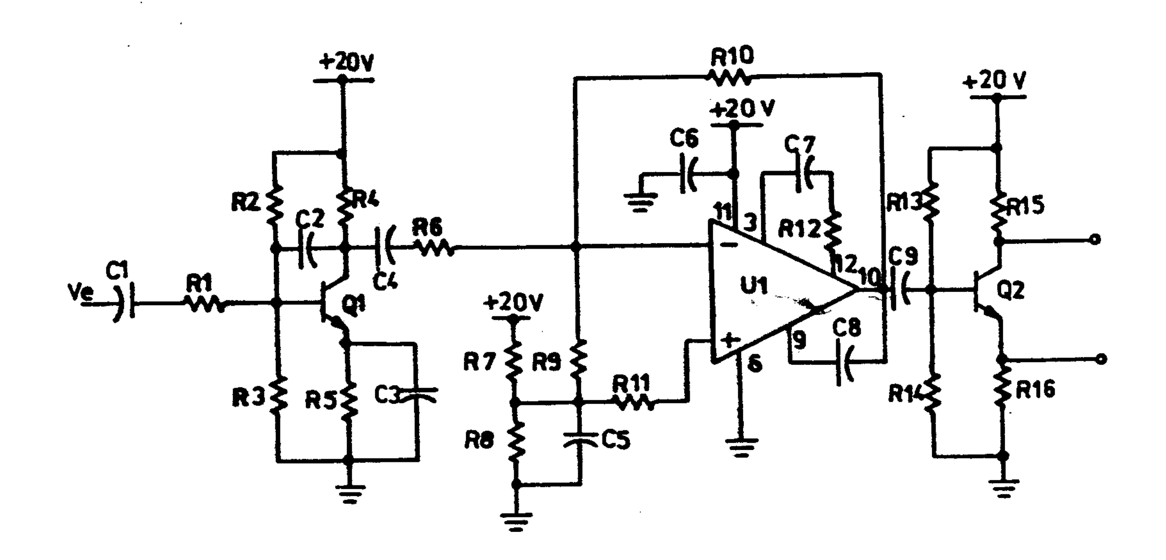
ويمكن الحصول على جهد 20V + من جهد 28V + (جهد مكبر القدرة) باستخدام ثنائي زينر، كما هو مبين بالشكل (٩-١٠).



الشكل (٩-١٠)

الدائرة رقم 4:

الشكل (٩-١١) يعرض إحدى صور دوائر التحكم فى مكبر دفع وجذب لمحرك مؤازر AC بمخرجين متتامين.



الشكل (٩-١١)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية 27KΩ
R_2	مقاومة كربونية 120KΩ
R_3	مقاومة كربونية 33kΩ .
R_4, R_{12},	مقاومات كربونية 1.5KΩ .
R_5	مقاومة كربونية 560 Ω .
R_6- R_8	مقاومات كربونية 10KΩ .
R_9, R_{11}	مقاومة كربونية 100KΩ .
R_{10}	مقاومة كربونية 1MΩ .
R_{13}	مقاومة كربونية 22KΩ .
R_{14}	مقاومة كربونية 12KΩ .
R_{15}, R_{16}	مقاومات كربونية 1KΩ .
C_1	مكثف كيميائي 10µF وجهده 25V .
C_2 , C_6	مكثفات كيميائية 0.1µF وجهده 25V.
C_3	مكثفات كيميائية 50µF وجهده 25V .
C_4, C_5, C_9	مكثفات كيميائية 20µF وجهده 25V .

C_7	مكثف كيميائى 0.005μ وجهده $25V$.
C_8	مكثف كيميائى 100pF وجهده 25V .
Q_1	ترانزستور NPN طراز MPSA13 .
Q_2	ترانزستور NPN طراز 2N3904
U_1	دائرة متكاملة لمكبر عمليات طراز MC1709

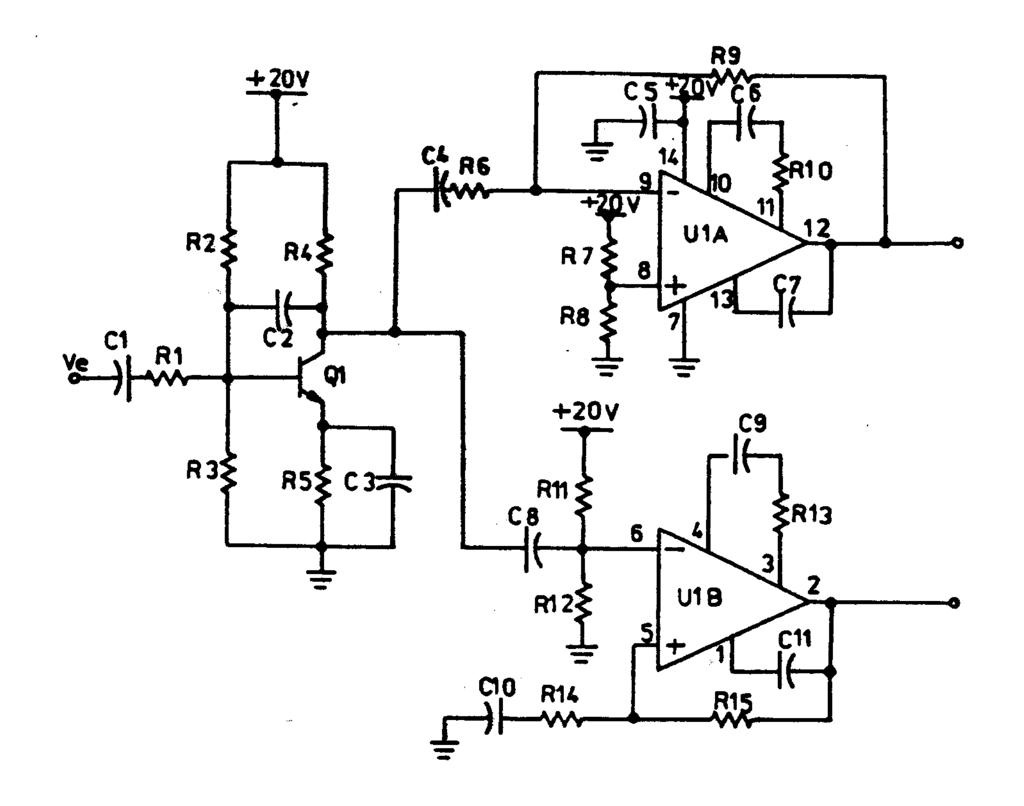
نظرية تشغيل :

يعمل المكبر المؤلف من الترانزستور Q_1 كمكامل وذلك للحصول على إزاحة 90° عن جهد المصدر، ويقوم مكبر العمليات U_1 كمكبر عاكس له معامل تكبير يساوى 100 ، ويتم تحويل الخرج المنفرد للمكبر U_1 بواسطة مكبر شق وجه Phase Spliting يتألف من الترانزستور Q_2 للحصول على مخرجين متتامين (متعاكسين) لتشغيل مكبر القدرة .

والجدير بالذكر أن دائرة المكبر Q_1 ودائرة المكبر Q_2 لهما معامل كسب الوحدة . كما أن العناصر C_6,C_7,C_8,R_{12} تعمل على المحافظة على استقرار عمل مكبر العمليات تبعاً لتوصيات الشركة المصنعة . ويمكن الحصول على جهد 20V + من جهد 28V + (جهد مكبر القدرة) باستخدام ثنائى زينر، كما هو مبين بالشكل (٩-١٠).

الدائرة رقم 5 :

الشكل (٩-١٢) يعرض إحدى صور دوائر التحكم فى مكبر دفع وجذب لمحرك مؤازر AC بمخرجين متتامين .



الشكل (٩-١٢)

عناصر الدائرة:

R_1 مقاومة كربونية **27Ω**

R_2 مقاومة كربونية **120KΩ**

R_3 مقاومة كربونية **33KΩ** .

R_4 مقاومة كربونية **1.5KΩ** .

R_5 مقاومة كربونية **560 Ω** .

R_6- R_{14} مقاومات كربونية **10KΩ** .

R_7, R_8, R_{11}, R_{12} مقاومات كربونية **22KΩ** .

R_9, R_{15} مقاومات كربونية **1MΩ** .

R_{10}, R_{13} مقاومات كربونية 1.5KΩ .

C_1, C_{10} مكثفات كيميائية 10μF وجهده 25V .

C_2, C_5 مكثفات كيميائية 0.1μF وجهده 25V .

C_3 مكثف كيميائى 50μF وجهده 25V .

C_4, C_8 مكثفات كيميائية 20μF وجهده 25V .

C_6, C_9 مكثفات كيميائية 5nF جهده 25V .

C_7, C_{11} مكثفات كيميائية 220pF وجهده 25V .

Q_1 ترانزستور NPN طراز MPSA13 .

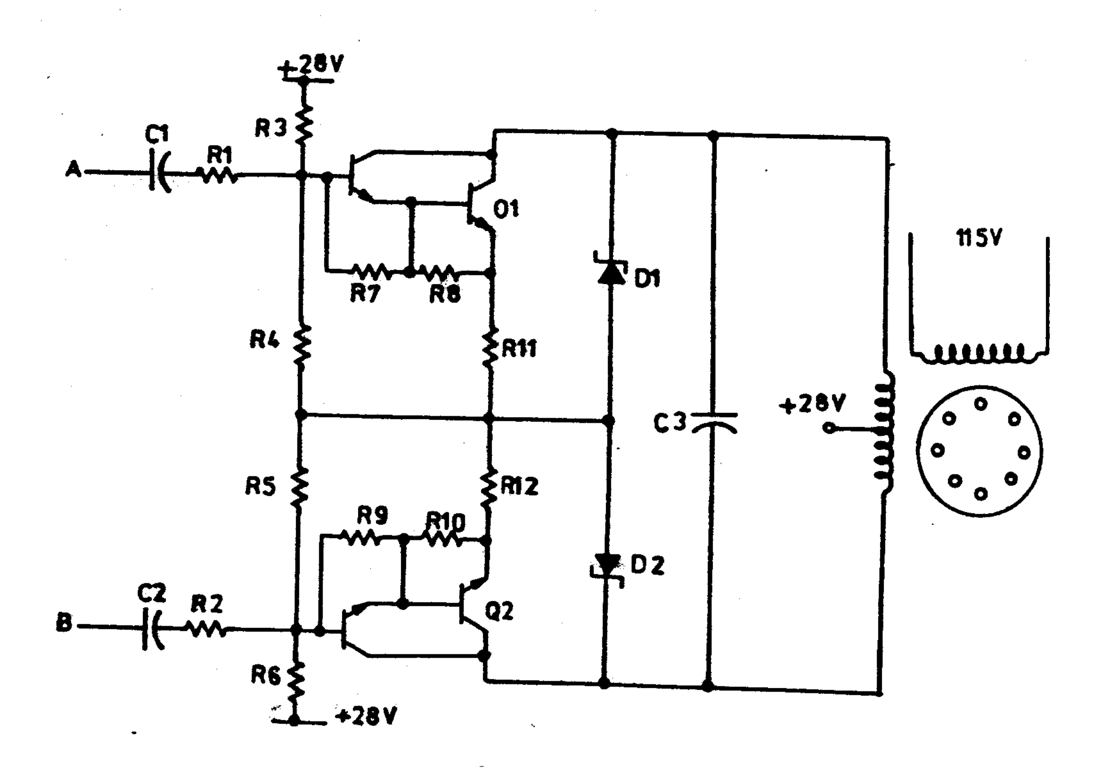
U_1 دائرة مكبر عمليات طراز MC1437 .

نظرية التشغيل:

يعمل المكبر المؤلف من الترانزستور Q_1 كمكامل للحصول على إزاحة 90° عن جهد المصدر المتردد وله معامل تكبير الوحدة، ويعمل U1A كمكبر عاكس له معامل تعكبير يساوى 100، ويعمل U1B كمكبر غير عاكس له معامل تكبير يساوى 100، وبالتالى يكون خرجى المكبرين U1A,U1B خرجين متتامين لتشغيل مكبر القدرة، ويمكن الحصول على جهد 20V+ من نفس مصدر مكبر القدرة 28V+ باستخدام الدائرة المبينة بالشكل (٩-١٢) .

الدائرة رقم 6:

الشكل (٩-١٣) يعرض دائرة مكبر قدرة (مكبر دفع وجذب) لمحرك مؤازر، حيث يتم التحكم فيها بواسطة دائرة تحكم في مكبر دفع وجذب بمخرجين متتامين كالمبين فى الدوائر 2,3,4,5 والتى تناولناها سابقًا فى نفس الفقرة .



الشكل (٩-١٣)

عناصر الدائرة:

R_1,R_2	مقاومات كربونية 1kΩ .
R_3,R_6	مقاومات كربونية 82kΩ.
R_4,R_5	مقاومات كربونية 5.6kΩ.
R_7,R_9	مقاومات كربونية 10kΩ .
R_8,R_{10}	مقاومات كربونية 150kΩ .
R_{11}	انظر الشرح
R_{12}	انظر الشرح
C_1,C_2	مكثفات كيميائية 20µF وجهدها 35VDC.
C_3	مكثف كيميائى 0.1µF وجهده 63VDC.
D_1,D_2	ثنائى زينر طراز 1N4759.
Q_1,Q_2	ترانزستورات دار لنجتون طرز MJE1102 أو MJ1001.

نظرية التشغيل:

عندما يكون جهد الطرف A موجباً يتحول Q_1 لحالة الوصل فيمر التيار الكهربى خلال النصف العلوى لملف التحكم للمحرك المؤازر، فى حين يكون جهد الطرف B سالبًا فيصبح Q_2 فى حالة قطع، وبالتالى يكون جهد الطرف السفلى لملف التحكم موجبًا بالنسبة للطرف العلوى. وعندما يكون جهد الطرف B موجباً يتحول Q_2 لحالة الوصل فيمر العيار الكهربى خلال النصف السفلى لملف التحكم المؤازر، فى حين ان جهد الطرف A سوف يكون سالبًا فيصبح Q_1 فى حالة قطع، وبالتالى يكون جهد الطرف العلوى لملف التحكم موجبًا بالنسبة للطرف السفلى، وهكذا، وبالتالى يتشكل جهد جيبى على طرف ملف التحكم يتشابه مع جهد إشارة الخطأ بإزاحة 90°.

وتتميز هذه الدائرة بانه فى اى لحظة يكونَ Q_2 او Q_1 فى حالة وصل، والثانى فى حالة قطع، مما يساعد على التبريد الجيد للترانزستورات.

وتستخدم هذه الدائرة فى تشغيل المحركات المؤازرة التى تعمل بالتيار المتردد مقاس Size11, Size18 تبعاً للمواصفات الامريكية.

والجدول (٩-١) يبين قدره وقيمة المقاومة R_{11}, R_{12} تبعًا لنوع المحرك، حيث إن قدرة ملف تحكم المحرك Size11 حوالى 4w والمحرك Size18 حوالى 10W.

الجدول (٩-١)

قدرة المقاومات R_{10}, R_{11}	قيمة المقاومة R_{10}, R_{11}	مقاس المحرك
1/2W	6.8 Ω	Size 11
1W	3.3 Ω	Size 18

الدائرة رقم 7:

الشكل (٩-١٤) يعرض دائرة تحكم في مكبر دفع وجذب لمحرك مؤازر AC بمخرج واحد، وكذلك مكبر قدره (دفع وجذب) له مدخل واحد .

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية 220kΩ.
R_2, R_4	مقاومات كربونية 680Ω.
R_3, R_8, R_{11}	مقاومات كربونية 100kΩ.
$R_5, R_6, R_7, R_{13}, R_{16}$	مقاومات كربونية 10kΩ.
R_9	مقاومة كربونية 1MΩ.
R_{10}	مقاومة كربونية 1.5 KΩ.
$R_{12}, R_{17}, R_{20}, R_{23}$	مقاومات كربونية 1KΩ.
R_{14}, R_{15}	مقاومات كربونية 1.5 MΩ.
R_{18}, R_{21}	مقاومات كربونية 68Ω وقدرتها 1W .
R_{19}, R_{22}	مقاومات كربونية 100Ω وقدرتها 1W .
RV_1	مقاومة متغيرة 10 KΩ .
C_1	مكثف كيميائي 5 µF وجهده 25VDC.
C_2	مكثف كيميائي 1 µF وجهده 25VDC.
C_3, C_6	مكثفات كيميائية 20 µF وجهده 25VDC .
C_4	مكثف كيميائي 0.1 µF وجهده 25VDC .
C_5	مكثف كيميائي 390 pF وجهده 25VDC .
C_7	مكثف كيميائي 100 pF وجهده 25VDC .
C_8, C_9	مكثفات كيميائية 1µF وجهده 200VAC .

C_{10},C_{11}	مكثفات كيميائية 150 µF وجهده 200VAC .
D_1,D_2	ثنائيات سليكونية 1N4004 .
Q_1	ترانزستور NPN طراز MPSA13 .
Q_2	ترانزستور PNP طراز MPSA92 .
Q_3	ترانزستور PNP طراز MJ3585 .
Q_4	ترانزستور NPN طراز MPSA42 .
Q_5	ترانزستور NPN طراز 2N3585 .
U_1	مكبر عمليات طراز MC 1709 .
M	محرك مؤازر AC مقاس Size 18 .

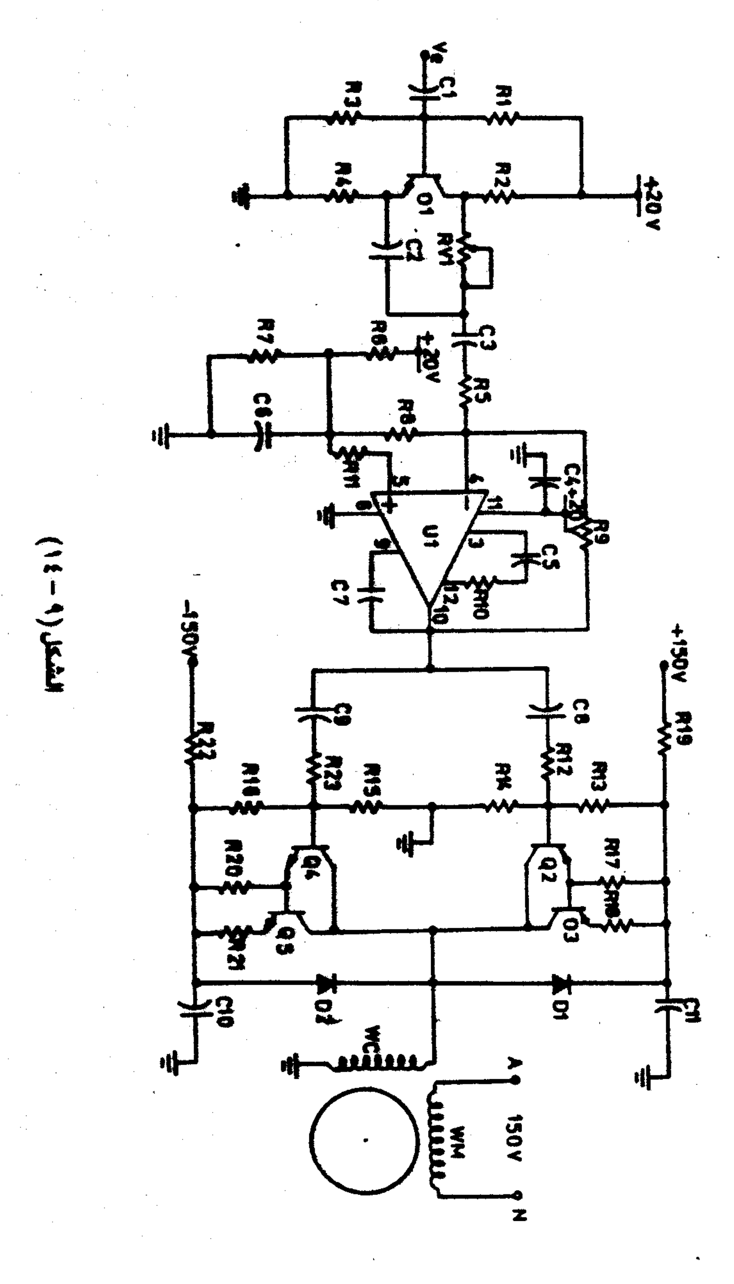
نظرية التشغيل:

يعمل المكبر المؤلف من Q_1 كمكامل للحصول على إزاحة °90 لإشارة جهد الخطأ عن جهد المصدر المتردد الذى يغذى الملف الرئيسى للمحرك المؤازر. ويعمل مكبر العمليات U_1 كمكبر عاكس له معامل تكبير 100 .

والجدير بالذكر أن العناصر C_4,C_5,C_7,R_{10} تعمل على المحافظة على استقرار مكبر العمليات U_1 تبعًا لتوصيات الشركة المصنعة.

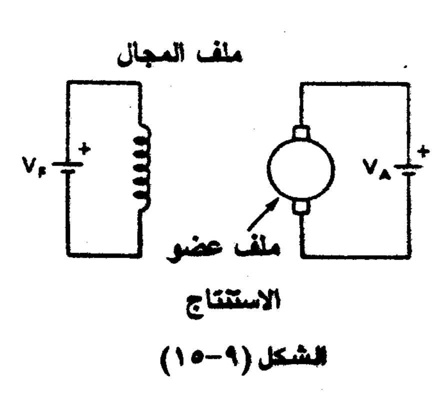
وعندما يكون خرج المكبر U_1 موجبًا يعمل Q_4,Q_5 فينتقل الجهد السالب -150V للطرف العلوى لملف التحكم. أما عندما يكون خرج المكبر U_2 سالبًا يعمل Q_2,Q_3 فينتقل الجهد الموجب +150V إلى الطرف العلوى لملف التحكم ويصبح الجهد المتشكل على أطراف ملف التحكم يشبه موجة إشارة الخطأ مع إزاحة °90. وتتناسب القيمة العظمى لجهد التحكم تناسبًا طرديًا مع جهد الخطأ.

والجدير بالذكر أن هذه الدائرة قادرة على تشغيل محرك مؤازر له ملف تحكم قدرته 10W مقاس Size18، ويمكن استخدامها لتشغيل محركات مؤازرة بقدرة أعلى ولكن عند جهود أقل.


Ve
C1
R1
R3
R2
R4
+20V
Q1
C2
RV1
C3
R6
+20V
R7
R5
C6
R8
C4
+20V
R9
RV2
U1
C5
R10
C7
+150V
-150V
C8
C9
R19
R12
R13
R14
R15
R23
R18
R22
Q2
Q3
R17
R16
Q4
Q5
R20
R21
D1
D2
C11
C10
WC
A
150V
WM
N
الشكل (٩-١٣)

٩ / ٥ المحركات المؤازرة العاملة بالتيار المستمر Dc Servo Motors :

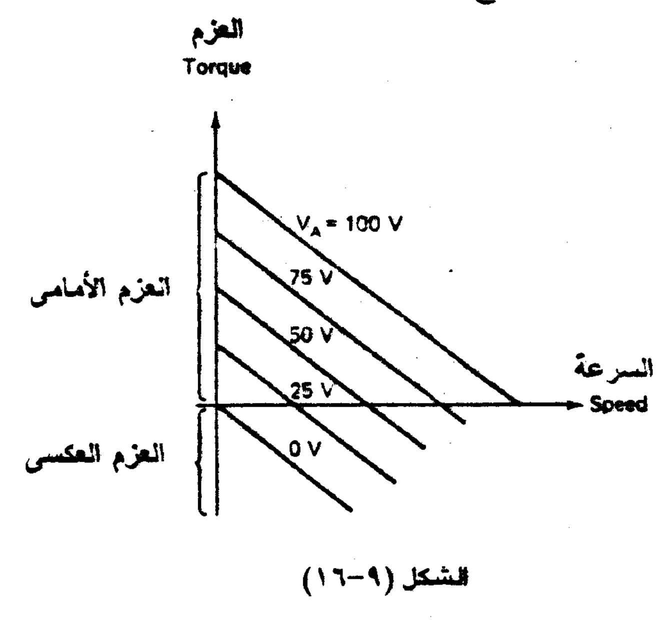
تتوفر المحركات المؤازرة العاملة بالتيار المستمر بقدرات تبدأ من القدرات الصغيرة الأقل من الحصان إلى القدرات الكبيرة الأعلى من 100 HP . ويشبه المحرك المؤازر العامل بالتيار المستمر محرك التيار المستمر ذات التغذية المنفصلة، فهو يحتوى على ملفين؛ **الأول** يسمى بملف المجال ويوضع فى العضو الثابت، **والثانى** ملف عضو الاستنتاج ويوضع فى العضو الدوار، وكلا الملفين يوصلان بمصدر تيار مستمر.



الشكل (٩-١٥)

والشكل (٩-١٥) يبين دائرة محرك مؤازر يعمل بالتيار المستمر. حيث إن V_F جهد ملف المجال، V_A جهد ملف عضو الاستنتاج.

والشكل (٩-١٦) يبين العلاقة بين العزم والسرعة لمحرك مؤازر يعمل بالتيار المستمر عند قيم مختلفة لجهد عضو الاستنتاج.



الشكل (٩-١٦)

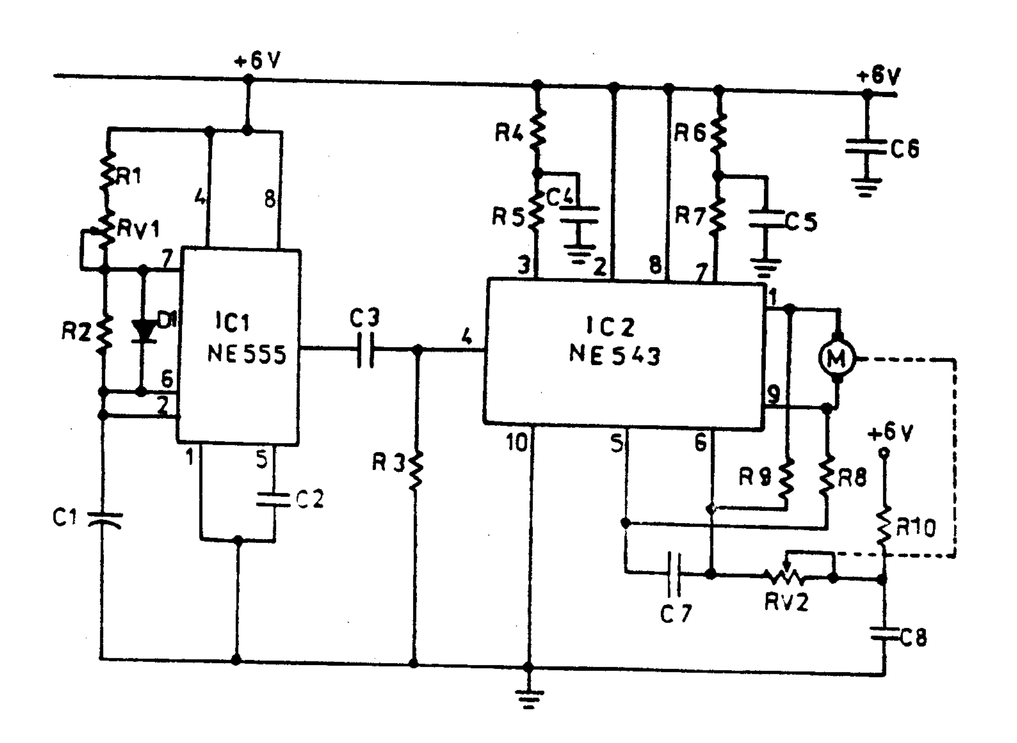
ومن هذه المنحنيات يتضح لنا أن العزم يزداد كلما انخفضت سرعة المحرك عند نفس قيمة جهد عضو الاستنتاج، وهذا يساعد على سرعة التعجيل عند البدء، وأيضاً عند الاقتراب من الوضع المطلوب يتولد عزم معاكس يعمل على تبطئة سرعة الحمل وصولاً للوضع المطلوب.

والجدير بالذكر أن محركات التيار المستمر ذات المغناطيس الدائم تستخدم كمحركات مؤازرة عند الحاجة لمحركات مؤازرة قدرات صغيرة، وهذا سيتضح فى الدوائر العملية فى الفقرة (٩ / ٦).

٩ / ٦ الدوائر العملية للتحكم فى المحركات المؤازرة العاملة بالتيار المستمر :

الدائرة رقم 1 :

الشكل (٩-١٧) يعرض دائرة تحكم فى محرك مؤازر DC باستخدام الدائرة المتكاملة NE543.



الشكل (٩-١٧)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية 4.3KΩ.
R_2	مقاومة كربونية 68kΩ.
R_3	مقاومة كربونية 10kΩ.
R_4, R_6	مقاومة كربونية 47kΩ.
R_5, R_7, R_{10}	مقاومة كربونية 33KΩ.
R_8, R_9	مقاومات كربونية 100 KΩ.
RV_1	مقاومة متغيرة 5 kΩ.
RV_2	مجزئ جهد دوار 5KΩ.
C_1	مكثف سيراميك 0.33µF.
C_2	مكثف سيراميك 0.1µF.
C_3	مكثف سيراميك 2.2 µF.
C_4, C_5	مكثفات سيراميك 47µF.
C_6	مكثف سيراميك 0.2 µF.
C_7	مكثف سيراميك 0.56 µF.
C_8	مكثف سيراميك 10 µF.
D_1	ثنائى طراز 1N457.
IC_1	دائرة متكاملة المؤقت NE 555.
IC_2	دائرة متكاملة طراز NE 543.
M	محرك مقاومته 11.5.

نظرية التشغيل:

تعمل الدائرة المتكاملة IC_1 كمذبذب لا مستقر زمن النبضة العالية TH يساوى:

$$TH = 0.7\,(R_1+RV_1) = (0.99:2.1mS)$$

وزمن الدورة الكلى T يساوى:

$$T = 0.7\,(R_1+RV_1) + 0.7\,R_2\,C_1 = 16.7:178\ mS$$

وتدخل هذه النبضات على مدخل نبضات الدائرة المتكاملة IC_2 طراز NE543 (الرجل 4)، ويتم مقارنة هذه النبضات داخليا مع النبضات المتولدة داخليًا داخل الدائرة المتكاملة IC_2، فإذا كان عرض نبضات الدخل أكبر من عرض النبضات الداخلية بما يتعدى عرض المنطقة الميتة يتم توسيع الفرق (زيادة زمنه) وإخراجه على المخرج 1.

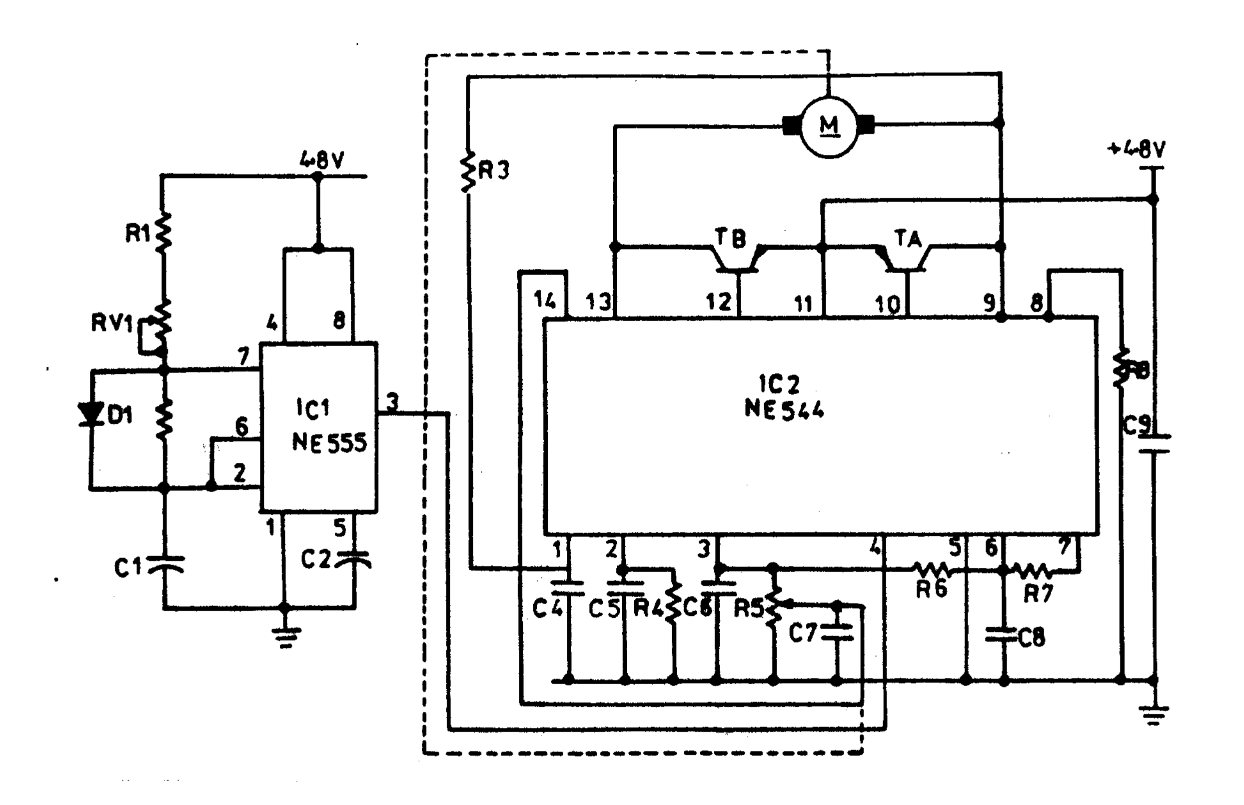
فإذا كان عرض نبضات الدخل أصغر من عرض النبضات الداخلية يدور المحرك لتقليل RV_2، وبالتالى يقل عرض النبضات الداخلية. وإذا كان عرض نبضة الدخل أكبر من عرض النبضات الداخلية يدور المحرك لزيادة RV_2، وبالتالى يزداد عرض النبضات الداخلية.

والجدير بالذكر أنه يمكن ضبط عرض النبضات الداخلية بواسطة RV_2,C_7,R_{10}. ويتم التحكم فى عرض المنطقة الميتة بواسطة R_5,R_7، فإذا كانت قيمة R_7 تساوى 33Ω فإن عرض المنطقة الميتة يكون مساويًا 4-5µS، وبالتالى فإن الدائرة المتكاملة NE543 لن تسمح بدوران المحرك حتى يصبح الفرق بين عرض النبضة الداخلة والمتولدة داخلياً أكبر من 4-5µS. وتتحكم المقاومات R_4,R_5 فى تعريض النبضة Pulse Stretching وتسمى المكثفات C_4، C_5 بمكثفات تعريض النبضة.

والجدير بالذكر أن تغير C_4,C_5 يلزمه تغير كل من R_4,R_5 للمحافظة على عرض النبضة. أما المقاومات R_8,R_9 فهى مقاومات التغذية المرتدة التى تمنع حدوث Over shoot بضبط التخميد فى الدائرة المغلقة. والمكثف C_3 هو مكثف ربط الدخل وتتراوح قيمة المقاومة R3 ما بين 4.7KΩ:47KΩ. وعمومًا كلما قلت قل الضوضاء. ويمكن التحكم فى وضع المحرك المطلوب. باستخدام المقاومة المتغيرة RV_1.

الدائرة رقم 2:

الشكل (٩-١٨) يعرض دائرة تحكم فى محرك مؤازر Dc باستخدام الدائرة المتكاملة NE544.


48V
R1
RV1
D1
C1
IC1
NE555
C2
R3
M
+48V
TB
TA
IC2
NE544
R8
C9
C4
C5
R4
C6
R5
C7
R6
R7
C8

الشكل (٩-١٨)

عناصر الدائرة:

R_1	مقاومة كربونية 4.3kΩ .
R_2	مقاومة كربونية 68kΩ.
R_3	مقاومة كربونية 560kΩ.
R_4	مقاومة كربونية 18KΩ .
R_5	مجزئ جهد 5 KΩ.
R_6	مقاومة كربونية 75KΩ.
R_7	مقاومة كربونية 130Ω .
R_8	مقاومة كربونية 240Ω.
RV_1	مقاومة متغيرة 5KΩ.
C_1	مكثف كيميائى سعته 0.35 µF وجهده 16VDC .
C_2	مكثف كيميائى سعته 0.1 µF وجهده 16VDC .
C_3,C_8	مكثف سيراميك 0.22 µF .
C_4,C_5	مكثف سيراميك 0.1 µF .
C_6,C_7	مكثف سيراميك 1 µF .
C_8	مكثف سيراميك 0.22 µF .
C_9	مكثف سيراميك 4.7 µF .
TA,TB	ترانزستورات PNP طراز MPS 6562 .
IC_1	دائرة متكاملة NE 555.
IC_2	دائرة متكاملة NE 544 .

نظرية التشغيل:

يعمل المذبذب اللامستقر المؤلف من الدائرة المتكاملة IC_1 على توليد نبضات زمن النبضة العالى يساوى:

$$TH = 0.7\,(R_1+RV_1)\,C_1 = 0.99:2.1\ mS$$

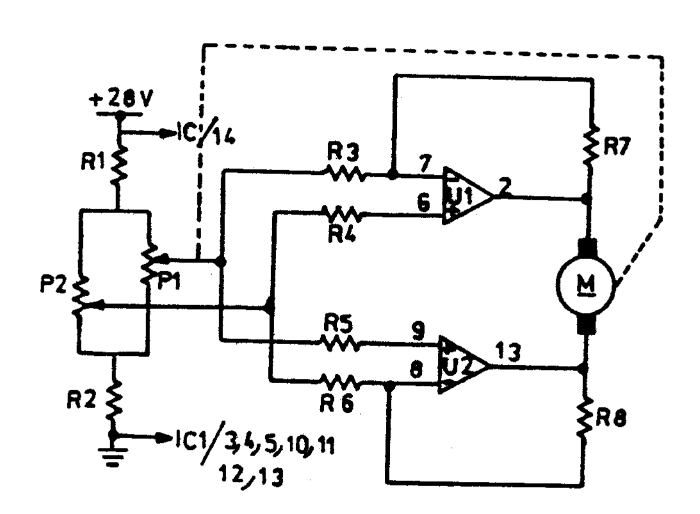
وزمن الدورة الكلى يساوى:

$$T = 0.7\,(R_1+RV_1)\,C_1 + 0.7\,R_2\,C_2 = 16.7:17.8\ mS$$

وبواسطة المقاومة RV_1 يتم ضبط الوضع المطلوب للمحرك المؤازر، وتعمل الدائرة المتكاملة IC_2 على مقارنة عرض نبضات الدخل بالنبضات المتولدة داخليًا فى الدائرة المتكاملة IC_2، فإذا كان عرض نبضات الدخل أكبر من عرض النبضات الداخلية بما يتعدى المنطقة الميتة يتم توسيع الفرق (زيادة زمنه) فيدور المحرك لزيادة R_5، وبالتالى يزداد عرض النبضات الداخلية، والعكس بالعكس.

الدائرة رقم 3:

الشكل (٩-١٩) يعرض دائرة تحكم فى محرك مؤازر تيار مستمر يتحكم فى عمود تثبيت هوائى Antenna.



الشكل (٩-١٩)

عناصر الدائرة:

R_1,R_2 مقاومات كربونية 100kΩ.

R_3- R_6 مقاومات كربونية 10kΩ.

R_7,R_8 مقاومات كربونية 510kΩ.

P_1 مجزئ جهد دوار 100KΩ.

P_2 مجزئ جهد 100KΩ.

IC_1 دائرة مكبر عمليات طراز LM 378.

M محرك مؤازر تيار مستمر يعمل عند جهد يتراوح ما بين 12:24VDC وتياره أقل من 700mA.

نظرية التشغيل:

يتم ضبط وضع الهوائئ Antenna المطلوب بواسطة مجزئ الجهد P_2، وبالتالى يصبح الجهد عند A يختلف عن الجهد عند النقطة B، فإذا كان جهد النقطة A أعلى من جهد النقطة B يصبح خرج الكبر U_1 يساوى:

$$U_{10} = \frac{R_7}{R_3}(V_B-V_A)$$

وخرج المكبر U2 يساوى:

$$U_{20} = \frac{R_8}{R_6}(V_B-V_A)$$

وتبعاً لقيم خرج كل من المكبر U_1 والمكبر U_2 يدور المحرك فى الاتجاه المناسب، وتباعًا يتغير وضع مجزئ الجهد P_1 والمثبتة على عمود دوران المحرك حتى يصبح جهد النقطة A يساوى جهد النقطة B فيتوقف المحرك.

الباب العاشر

الصيانة واكتشاف الأعطال

الصيانة واكتشاف الأعطال

١٠ / ١ نصائح عند التعامل مع الأجهزة العاملة بأشباه الموصلات :

يجب حماية الأجهزة العاملة بأشباه الموصلات من :

١- الارتفاع المفرط فى درجة الحرارة، والذى ينشأ نتيجة لسوء التبريد أو لارتفاع درجة الحرارة المحيطة أو الرباط غير الجيد لعناصر القدرة الالكترونية على مشتتات الحرارة Heat Sinks أو ارتفاع درجة حرارة الآلة المدارة.

٢- تراكم القاذورات، فيجب تنظيف أشباه الموصلات والمعدات من الأتربة التى تتجمع عليها، فعند حدوث جهود عابرة فى الدائرة يحدث تأين للهواء المحيط بأشباه الموصلات، وتسمى هذه الظاهرة بالكرونا، وفى حالة تراكم الأتربة والرطوبة على أشباه الموصلات تظل ظاهرة الكرونا حتى بعد عودة الجهد لقيمته الطبيعية، ويؤدى ذلك لانهيار الدائرة؛ ولذلك يجب عمل تنظيف دورى لأشباه الموصلات.

٣- زيادة الأحمال والتى تنشأ من التشغيل السيئ للمشغلين، مثل زيادة سرعة الوصل والفصل، أو عكس الحركة السريع، أو فرملة المحرك، أو زمن البدء الطويل، أو انهيار كراسى محور المحرك نتيجة لتركيب سيئ، أو لعدم صيانة، أو لفقدان أحد الأوجه نتيجة لاحتراق مصهر، أو عدم اتزان الأوجه.

ولحماية أشباه الموصلات من زيادة التيار تستخدم أحد الطرق التالية :

أ- مصهرات حماية.

ب- متممات حرارية Thermal O.L .

جـ- قواطع محركات Motor C.B .

د- استخدام أشباه موصلات لها سعات أكبر من التيار المقنن للحمل.

٤- زيادة جهد التشغيل، لذلك يجب استخدام ريلاى زيادة جهد Over voltage

لحماية أشباه الموصلات والمحرك من زيادة الجهد . وقد يحدث زيادة لحظية فى الجهد أثناء الحالات العابرة Transient .

وأهم أسباب الجهود العابرة Transient Voltages ما يلى :

أ- الوصل والفصل Switching، خصوصاً للأحمال الحثية مثل المحولات والمحركات فتتولد جهود عابرة على أطراف المفاتيح .

ب- الصواعق التى تسقط على الخطوط الكهربية قد تسبب جهوداً عابرة، وقد تحدث فى دوائر مجاورة؛ لذلك يجب عمل دوائر كبح لهذه الجهود العابرة للحدود التى تتحملها أشباه الموصلات .

جـ- الإطفاء السريع لأشباه الموصلات؛ ولذلك يجب عمل مصايد Snubber بالتوازى مع الترياكات والثايرستورات وهى تتألف من مقاومة ومكثف .

د- إعادة التوليد Regeneration للأحمال الحثية والديناميكية مثل المحركات الكهربية، فعند انقطاع التيار الكهربى عن هذه الأحمال تتولد قوة دافعة كهربية عكسية كبيرة، ويمكن خمدها بواسطة ثنائيات الزينر أو المكثفات المقاومات المعتمدة على الجهد Varistors .

١٠ / ٢ المشاكل التى تؤثر على المحركات المحكومة بأشباه الموصلات :

الجدول (١٠-١) يعرض انواع المشاكل التى تؤثر على المحركات المحكومة بأشباه الموصلات (أسبابها - الآثار المترتبة على كل من المحرك وأشباه الموصلات - الحماية اللازمة)، علماً بأن زيادة تيار أشباه الموصلات عن القيمة المقننة يؤدى إلى تقصير عمر أشباه الموصلات إن لم يؤد إلى تلفها العاجل، كما أن الجهود العابرة تؤدى إلى تلف أشباه الموصلات، وأيضا فإن حدوث ظاهرة الكرونا يؤدى لتكوين القاذورات المتراكمة على أشباه الموصلات، مما يسبب حدوث قصر على أشباه الموصلات .

الجدول (١٠ - ١)

المشاكل	السبب	الآثار المترتبة على المحرك	الآثار المترتبة على أشباه الموصلات	الحماية اللازمة
زيادة الحمل	المشغل	زيادة تيارات الأوجه الثلاثة بنسبة تصل إلى 200%	زيادة تيار أشباه الموصلات فإذا حدث احتراق للمحرك ينشأ عن ذلك قفزات جهد لأشباه الموصلات	قاطع محركات MCB له خواص حرارية ومغناطيسية
فرملة المحرك	عزم فرملي ناتج عن مشكلة في الحمل	زمن طويل يعمل فيه المحرك بتيار يصل إلى 600% من التيار المقنن	زيادة تيار أشباه الموصلات فإذا حدث احتراق للمحرك ينشأ عن ذلك قفزات جهد لأشباه الموصلات	قاطع محركات MCB له خواص حرارية ومغناطيسية
معدل وصل وفصل عالٍ	حرص المشغل على زيادة الإنتاج	زمن طويل يعمل فيه المحرك بتيار يصل إلى 600% من التيار المقنن	زيادة تيار أشباه الموصلات فإذا حدث احتراق للمحرك ينشأ عن ذلك قفزات جهد لأشباه الموصلات	قاطع محركات MCB له خواص حرارية ومغناطيسية
عكس حركة سريع	متطلبات الإنتاج	زمن طويل يعمل فيه المحرك بتيار يصل إلى 600% من التيار المقنن	زيادة تيار أشباه الموصلات فإذا حدث احتراق للمحرك ينشأ عن ذلك قفزات جهد لأشباه الموصلات	قاطع محركات MCB له خواص حرارية ومغناطيسية

تابع الجدول (١٠ - ١)

المشاكل	السبب	الآثار المترتبة على المحرك	الآثار المترتبة على أشباه الموصلات	الحماية اللازمة
زيادة زمن البدء	عزم قصور ذاتي على الاحمال	زمن طويل يعمل فيه المحرك بتيار يصل إلى 600% من التيار المقنن	زيادة تيار أشباه الموصلات فإذا حدث احتراق للمحرك ينشا عن ذلك قفزات جهد لاشباه الموصلات	قاطع محركات MCB بخواص حرارية ومغناطيسية
ارتفاع درجة حرارة الآلة المدارة	ارتفاع درجة الحرارة المحيطة او انخفاض معدل التبريد	لا يوجد زيادة فى التيار ولكن ينهار عزل المحرك	زيادة تيار أشباه الموصلات فإذا حدث احتراق للمحرك ينشا عن ذلك قفزات جهد لاشباه الموصلات	متمم ارتفاع درجة حرارة Thermister Relay
انهيار كراسى محور المحرك	تركيب سيئ لكراسى المحور - عدم وجود صيانة	زيادة التيار إلى 600% نتيجة لفرملة المحرك	زيادة تيار أشباه الموصلات فإذا حدث احتراق للمحرك ينشا عن ذلك قفزات جهد لاشباه الموصلات	قاطع محركات MCB بخواص حرارية ومغناطيسية
انهيار احد الأوجه	احتراق مصهر - فك لاحد الوصلات الكهربية	زيادة التيار إلى أن يحدث تشبع للقلب الحديدى للمحرك	زيادة تيار أشباه الموصلات فإذا حدث احتراق للمحرك ينشا عن ذلك قفزات جهد لاشباه الموصلات	قاطع محركات للحماية من زيادة التيار وكذلك متمم فقدان احد الأوجه

تابع الجدول (١٠ - ١)

المشاكل	السبب	الآثار المترتبة على المحرك	الآثار المترتبة على أشباه الموصلات	الحماية اللازمة
عدم اتزان للأوجه	احمال وجه واحد غير متزنة	انخفاض تيار أحد الأوجه وزيادة تيار الأوجه الباقية	زيادة تيار أشباه الموصلات فإذا حدث احتراق للمحرك ينشأ عن ذلك قفزات جهد لأشباه الموصلات	قاطع محركات للحماية من زيادة التيار وريلاى عدم اتزان الأوجه
زيادة فى الجهد	مصدر جهد عال	زيادة التيار مما يسبب تشبع القلب	زيادة تيار أشباه الموصلات فإذا حدث احتراق للمحرك ينشأ عن ذلك قفزات جهد لأشباه الموصلات	ريلاى للحماية من زيادة الجهد
جهد عابر كبير	انظر للفقرة (١٠ / ١)	زيادة تيار المحرك	زيادة الجهد على أطراف أشباه الموصلات عندما تكون فى حالة Off	توصيل دائرة مصيدة Snubber بالتوازى مع (الثايرستورات الترياكات)

١٠ / ٣ اكتشاف الأعطال فى دوائر مكبرات العمليات .Op. Amp:

يوجد ثلاثة أنواع من الأعطال فى المحتملة فى مكبرات العمليات، وهى كما يلى :

١- انعدام الخرج No Output .

٢- انخفاض الخرج Low Output .

٣- خرج مشوه Distorted output .

والجدول (١٠-٢) يبين المشاكل المحتملة وأسبابها وطرق اكتشافها .

الجدول (١٠-٢)

طريقة الاكتشاف	الأسباب المحتملة	المشكلة
١- اختبر خرج مصدر القدرة. ٢- اختبر وصول إشارة الدخل ٣- قياس جهود إشارات الدخل - التأكد من عدم وجود قصر على مقاومة الدخل - التأكد من وجود تاريض جيد ٤- ينزع المكبر للخارج ويتم اختباره كعاكس	١- انقطاع مصدر القدرة ٢- انقطاع إشارة الدخل ٣- تشبع مكبر العمليات ٤- تلف مكبر العمليات	انعدام الخرج
١- اختبر الجهد على أطراف للمكبر ٢- اختبر جهد إشارة الدخل ٣- اختبر قيمة مقاومات الدخل ومقاومة التغذية المرتدة ٤- ينزع المكبر للخارج ويتم اختباره كعاكس	١- انخفاض جهد المصدر ٢- انخفاض جهد إشارة الدخل ٣- اختلاف فى قيم العناصر المستخدمة ٤- تلف مكبر العمليات	انخفاض الخرج
١- اختبر الجهد على أطراف القدرة للمكبر ٢- اختبر إشارة الدخل ٣- اختبر نطاق الترددات التى يعمل فيها ٤- ينزع المكبر للخارج ويتم اختباره كعاكس	١- تشوه جهد مصدر القدرة أو انخفاضه ٢- دخل مشوه ٣- العمل خارج الحدود المسموحة ٤- تلف مكبر العمليات	خرج مشوه

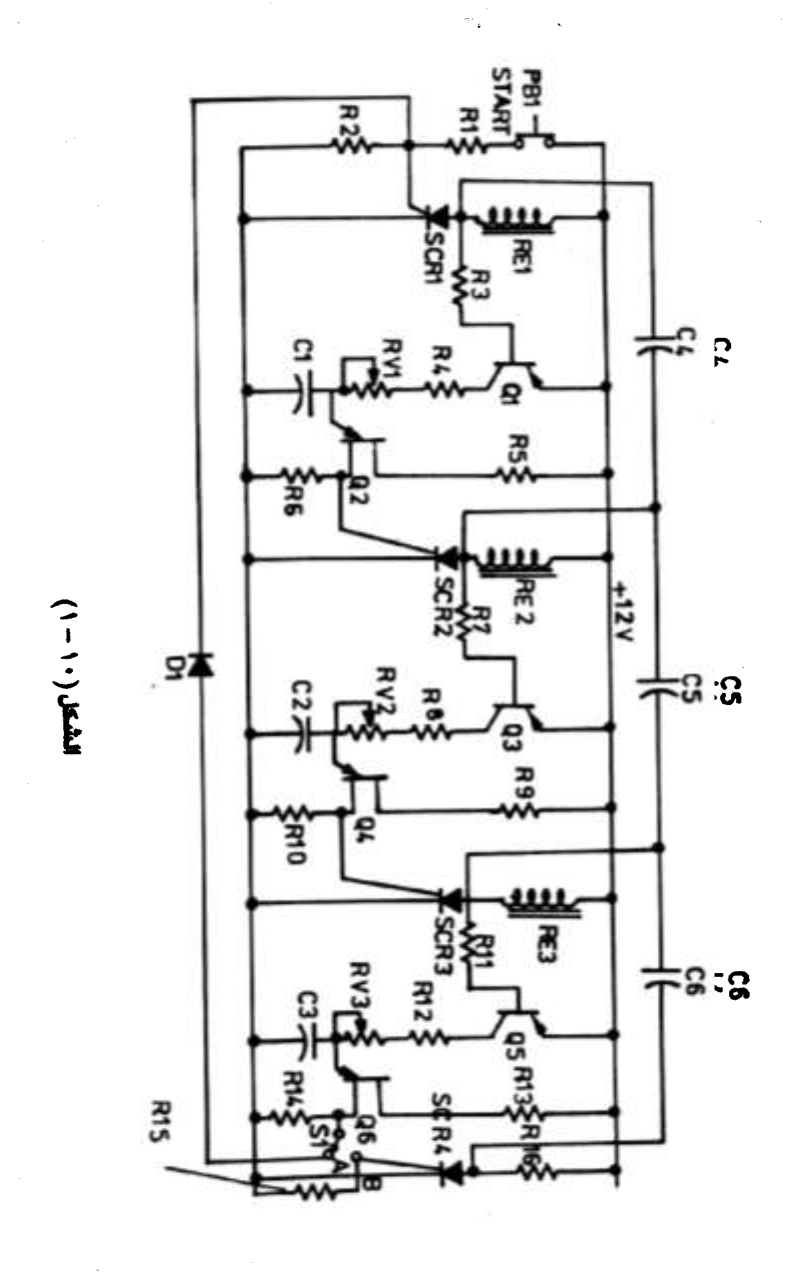
١٠ / ٤ تطبيقات على تحديد مكان الأعطال :

التطبيق الأول :

الشكل (١٠-١) يبين دائرة تحكم فى ثلاثة محركات بالاستعانة بالريليهات الكهرومغناطيسية RE_1, RE_2, RE_3 .

عناصر الدائرة :

R_1	مقاومة كربونية 2.2kΩ .
R_2, R_{15}, R_{16}	مقاومات كربونية 1kΩ .
R_3, R_7, R_{11}	مقاومات كربونية 22kΩ .
R_4, R_8, R_{12}	مقاومات كربونية 100kΩ .
RV_1, RV_2, RV_3	مقاومات متغيرة 2MΩ .
R_6, R_{10}, R_{14}	مقاومات كربونية 100 Ω .
R_5, R_9, R_{13}	مقاومات كربونية 470Ω .
C_1, C_2, C_3	مكثفات كيميائية 10 µF وجهدها 16VDC .
C_4, C_5, C_6	مكثفات كيميائية 2.2 µF وجهده 16VDC .
SCR_1-SCR_4	ثايرستورات طراز BT109 .
D_1	ثنائى سليكونى طراز 1N4000 .
Q_1, Q_3, Q_5	ترانزستورات PNP طراز BCY 70 .
Q_2, Q_4, Q_6	ترانزستورات أحادية الوصلة UJT طراز TI 543 .
PB_1	ضاغط بريشة مفتوحة .
S_1	مفتاح قطب واحد سكتين .


PB1
START
R1
R2
RE1
SCR1
R3
Q1
R4
RV1
C1
Q2
R5
R6
C4
RE 2
SCR2
R7
+12V
Q3
R8
RV2
C2
C5
Q4
R9
R10
RE3
SCR3
R11
Q5
R12
RV3
C3
C6
R13
R14
Q6
SCR4
R16
S1
A
B
R15
D1

الشكل (١٠-١)

نظرية التشغيل:

فى هذه الدائرة تستخدم الثايرستورات SCR_1-SCR_4 لتوصيل التيار الكهربى لملفات الريليهات الثلاثة RE_1,RE_2,RE_3، فى حين أن الترانزستورات الأحادية الوصلة Q_1,Q_2,Q_3 مسئولة عن زمن التأخير.

وتتكون هذه الدائرة من ثلاثة مراحل: فعند توصيل التيار الكهربى للدائرة فلن يعمل أى ثايرستور لعدم وصول إشارة إشعال لبواباتهم وبمجرد الضغط على PB_1 تصل إشارة إشعال لبوابة SCR_1 يتحول لحالة الوصل ويعمل RE_1، وتباعًا يعمل المحرك الكهربى M_1 (غير موضح بالرسم)، ويصبح الطرف الأيسر للمكثف C_4 موصل بالأرضى عبر SCR_1 ، فى حين أن الطرف الأيمن للمكثف C_4 يكون موصلاً بالجهد +12V لأن SCR_2 ما زال فى حالة قطع فيشحن المكثف، وكذلك ينخفض جهد قاعدة Q_1 فيتحول لحالة الوصل ويشحن المكثف C_1 من خلال المقاومات R_4,RV_1، وبمجرد وصول الجهد على أطراف المكثف C_1 للجهد اللازم لإشعال Q_2 يتحول لحالة الوصل فتصل نبضة إشعال لبوابة الثايرستور SCR_2 عبر المقاومة R_6، وبالتالى يمر التيار الكهربى فى ملف RE_2 فيعمل RE_2 ويدور المحرك M_2 (غير موضح بالرسم)، وكذلك يصبح المكثف C_4 موصلاً بالتوازى مع SCR_1 بواسطة SCR_2 فيحدث انحياز عكسى للثايرستور SCR_1 وينقطع التيار المار به وينطفئ SCR_1، ويشحن المكثف C_5 لأن جانبه الأيسر موصل بالأرض والجانب الأيمن موصل بجهد +12V، ويتحول Q_3 لحالة الوصل ويشحن المكثف C_2 من خلال R_8 , RV_2 وبمجرد وصول الجهد على أطراف المكثف C_2 للجهد اللازم لإشعال Q_4 تصل نبضة إشعال للثايرستور SCR_3 عبر المقاومة R_{10} فيعمل RE_3، وتباعًا المحرك M_2 وينطفئ الثايرستور SCR_2 بواسطة المكثف C_5 والثايرستور SCR_3 ويتوقف المحرك M_2، ويشحن المكثف C_6 لأن جانبه الأيسر موصل بالأرض والجانب الأيمن موصل بجهد +12V ويتحول Q_5 لحالة الوصل ويشحن المكثف C_3 من خلال R_{12},RV_3، وعند وصول الجهد على أطراف المكثف C_3 للجهد اللازم لإشعال Q_6 يشتعل فتصل نبضة إشعال للثايرستور SCR_1 عبر D_1 إذا كان المفتاح S_1 موضوعًا على وضع A وتتكرر

دورة التشغيل. في حين تصل نبضة اشعال إلى SCR_4 إذا كان للمفتاح S_1 على وضع B وتتوقف العملية بعد تحول SCR_3 لحالة القطع بواسطة C_6 ويتوقف المحرك وينطفئ الثايرستور SCR_4 طبيعيًا لان المقاومة R_{16} كبيرة، وبالتالى فإن التيار المار فى SCR_4 بعد انقطاع إشارة الإشعال يكون صغيراً ويساوى:

$$I_{AK} = \frac{12}{1000} = 1mA$$

وهذا التيار صغير وأقل من تيار الإمساك الادنى I_H للثايرستور والذى يساوى 10mA للثايرستورات المتوسطة الحجم.

والجدير بالذكر أنه يمكن التحكم فى زمن تشغيل المحرك M_1 بواسطة RV_1، وكذلك التحكم فى زمن تشغيل المحرك M_2 بواسطة RV_2 والتحكم فى تشغيل المحرك M_3 بواسطة RV_3.

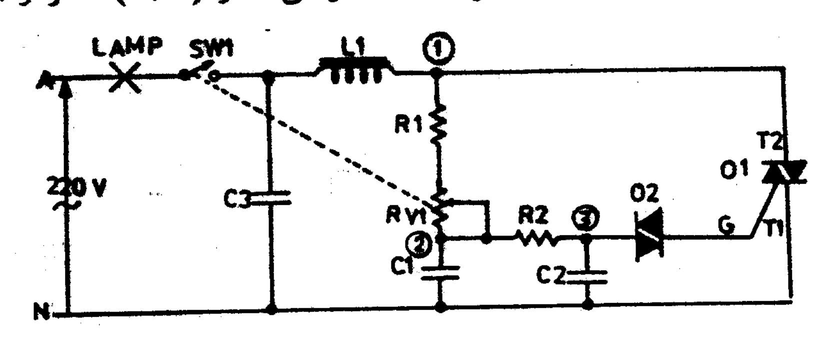
والجدول (١٠-٣) يبين الاعطال الممكنة وأسبابها.

الجدول (١٠ - ٣)

العطــــل	السبب
العملية لا تتوقف فى النهاية عند وضع المفتاح S_1 على الوضع B وأيضاً لا تتكرر عند وضع المفتاح S_1 على الوضع A.	- فتح فى R_{11} أو Q_5 أو R_{12} أو RV_3 أو Q_6 أو SCR_4 أو R_{16} أو C_6 - قصر فى C_3.
يعمل RE_2,RE_3 فى نفس اللحظة التى يفصل عندها RE_1	قصر فى C_5
فشل تكرار دورة التشغيل عند وضع S_1 على وضع B ولكن الدائرة تتوقف طبيعياً عند وضع S_1 على وضع A	فتح فى D_1
الريلاى RE_3 يعمل باستمرار بمجرد توصيل التيار الكهربى للدائرة	قصر بين مصعد ومهبط SCR_3 أو قصر بين قاعدتى Q_4 ويمكن تحديد مكان الخطأ بقياس الجهد عند مصعد SCR_2. فإذا كان صفراً فإن SCR_2 هو التالف.
الدائرة تتوقف عن العمل بعد المرحلة الثانية	- فتح فى Q_3 أو Q_7 أو R_7 أو R_8 أو RV_2 أو Q_4 أو R_{10} أو R_9. - قصر فى C_2 أو قصر بين بوابة ومهبط SCR_3 - قطع فى ملف الريلاى RE_3 أو فتح بين مصعد ومهبط SCR_3

التطبيق الثانى :

الشكل (١٠-٢) يبين دائرة التحكم فى شدة إضاءة مصباح كهربى قدرته 100w. ولقد سبق وأن تناولنا هذه الدائرة فى الفقرة (٤ / ٢) الدائرة رقم 4.



الشكل (١٠-٢)

والجدول (١٠-٤) يبين أهم الأعطال الممكنة وأسبابها المتوقعة

الجدول (١٠-٤)

العطـــل	السبب
لا يمكن التحكم فى شدة إضاءة المصباح بواسطة المقاومة RV_1 والمصباح مظلم.	المقاومة RV_1 مفتوحة
المصباح مضىء بإضاءة عالية ولا يمكن التحكم فى إضاءتها بواسطة RV_1 وفرق الجهد بين النقطة 1 والخطN صفراً.	يوجد قصر بين MT_2 , MT_1 للترياك
المصباح يفشل ان يضىء وكان الجهد عند النقطة 1 يساوى (215V) وعند النقطة 2 يساوى (207V) وعند النقطة 3 يساوى (ov).	المقاومة R_2 مفتوحة أو يوجد قصر بالمكثف C_2.
لا يمكن التحكم فى شدة إضاءة المصباح بالصورة الصحيحة فتكون الإضاءة أعلى ما يمكن عندما تكون RV1 أصغر ما يمكن فى حين تكون الإضاءة منخفضة نسبياً عندما تكون RV1 أكبر ما يمكن.	المكثف C_1 مفتوح.

تابع جدول (١٠-٤)

العطـــل	السبب
المصباح لا يضىء مهما كانت قيمة RV_1.	فتح أو قصر بين البوابة G والقاعدة MT1 للترياك
المصبـــاح لا يضىء أبداً والجـهـد عند النقطة 1 يساوى صفراً.	يوجدفتح فى الملف L_1

١٠ / ٥ الصيانة الوقائية Preventive Maintenance :

إن السبيل للتشغيل الجيد الخالى من المشاكل هو اتباع الصيانة الدورية، وذلك لتجنب كل من :

١- ارتفاع درجة الحرارة، وحيث إن درجة الحرارة ترتفع تدريجيًا وليس لحظيًا لذلك يمكن عمل وسيلة لمراقبة درجة الحرارة مثل تثبيت ازدواج حرارى على مشتتات الحرارة Heat Sinks، ويجب أن تكون مشتتات الحرارة مطلية بلون أسود، فهذا يزيد من إمكانية التبريد بنسبة 25%. ويجب ألا يسمح لدوائر أشباه الموصلات ذات القدرات العالية بالعمل فى حالة عدم وجود هواء مدفوع للتبريد أو ماء التبريد اللازم، كما يجب عدم تثبيت أشباه الموصلات بجوار عناصر مشعة للحرارة مثل المحولات.

٢- تراكم القاذورات، فيجب إزالة القاذورات المتجمعة على السطح الزجاجى أو سطح السيراميك لأشباه الموصلات بصفة دورية، ويمكن الاستعانة ببعض المحاليل فى تنظيف أشباه الموصلات، ولكن هناك بعض المحاليل المستخدمة فى تنظيف أشباه الموصلات تكون سامة خصوصًا إذا استخدمت فى جو ذى تهوية سيئة؛ ولذلك فإن تنظيف أشباه الموصلات بقطعة قماش طريقة آمنة وإن لم تكن جيدة للوصول للأماكن الضيقة؛ لذلك قد يلزم الأمر استخدام المحاليل.

والجدول (١٠-٥) يبين الأنواع المختلفة للمحاليل وخواص كل نوع. علمًا بأن الطريقة الآمنة للتنظيف هو استخدام أحد المنظفات، ثم التشطيف بماء مقطر.

والجدير بالذكر أن ماء الصنبور يحتوى على كثير من الشوائب لذلك لا

يستخدم، ويجب تجفيف الدائرة تمامًا قبل البدء في إعادة التشغيل. ويمكن استخدام الميثيل والإيثيل والكحول في التنظيف ولكن لهم تأثير ضار جداً بالعوازل؛ لذلك يفضل وضع عينة من الكحول أو أى محلول تنظيف على عازل من العوازل المستخدمة لمعرفة مدى تأثرها بعد فترة زمنية مساوية للزمن اللازم للغسيل والتنظيف. وعند حدوث أى مشاكل يجب الا يستخدم هذا المحلول، ويجب أن نتذكر أن الكحول سام لذلك يجب استخدامه بحذر. ويجب الا يخلط أكثر من محلول معًا بدون قراءة التعليمات الخاصة بهذه المحاليل.

الجدول (١٠ - ٥)

تحذير	ضار بالعوازل	موصل للكهرباء	سام	ينفجر	يشتعل	المحلول
يجب الشطف بماء مقطر والانتظار حتى يجف	لا	نعم	لا	لا	لا	ماء صنبور
التجفيف قبل إعادة التيار الكهربى.	لا	لا	لا	لا	لا	ماء مقطر
التشطيف بماء مقطر والتجفيف.	لا	نعم	لا	لا	لا	ماء ومنظف
احذر من ملامسة اليد له ويجب وجود تهوية جيدة	لحد ما	لا	عال	عال	عال	المثيل الكحولى
قد يؤدى لانهيار داخلى وابتلاعه يؤدى للعمى	لحد ما	لا	عال	عال	عال	إيثيل الكحول
يخلط مع الماء المقطر لتقليل الخطورة	لحد ما	لا	عال	عال	عال	إيزوبروبيل الكحول
تهوية جيدة ويجب الا نعرضه للمطاط	لحد ما	لا	منخفض	منخفض	منخفض	ثنر دهان
يجب أن نقلل من تعريضه للمطاط لأنه يؤدى لتآكله	لحد ما	لا	منخفض	متوسط	عال	أستيون
يجب التجفيف بعد الغسيل وأن نقلل من تعريضه للمطاط كما أنه يؤدى لجريان الأعين بالماء	لحد ما	لا	متوسط	منخفض	منخفض	بيركلور إيثيلين
استخدام تهوية مناسبة مع التقليل من تعرضك له	لحد ما	لا	منخفض	منخفض	منخفض	الفريون
استخدام تهوية مناسبة مع التقليل من تعرضك له	لحد ما	لا	متوسط	منخفض	منخفض	مالتير XL-100
استخدام تهوية مناسبة مع التقليل من تعرضك له	لحد ما	لا	منخفض	منخفض	منخفض	ميلير ستيفنسون MS-180

١٠ / ٦ استبدال أشباه الموصلات التالفة:

أثناء اكتشاف الأعطال يمكن اكتشاف بعض العناصر التى لا تعمل جيداً، ولذلك يقوم فنى الصيانة باستبدال هذا العنصر، ويعتبر التحديد الجيد لنوع العنصر الخطوة الأولى للاستبدال، فكثيراً من اشباه الموصلات يتم تحديدها من البادئة، فمثلاً 1N تعنى ثنائى مثل 1N4001 أما SCR تعنى موحد قدرة، 2N تعنى ترانزستور مثل 2N681 وهكذا.

والجدير بالذكر أنه ينصح باستبدال العنصر بنفس النوع وليس ببديل لأن هناك كثيراً من الخواص الثانوية المختلفة بين البدائل، وهذا يظهر جلياً مع اشباه موصلات القدرة.

وفى حالة عدم وضوح رقم العنصر يمكن الاتصال بالشركة المصنعة وسؤالها عن هذا العنصر وشراء عنصر بديل من نفس الشركة المصنعة قدر الإمكان.

وعند الفشل فى إيجاد العنصر ذاته يمكن استبداله بآخر له نفس جهد التشغيل وتيار التشغيل.

فمثلاً إذا كان جهد التشغيل 110VA استخدم عنصر له جهد تشغيل 300VAC، وإذا كان جهد التشغيل 220VAC استخدم عنصر له جهد تشغيل 380VAC وهكذا. ويجب التنبيه بأنه يجب البحث عن سبب انهيار عناصر أشباه الموصلات قبل الاستبدال، وعند تثبيت أشباه الموصلات يجب التأكد من نظافة أسطح التثبيت واستخدام مركبات حرارية مناسبة، ثم إعادة التثبيت بالعزم المطلوب.

١٠ / ٧ اختبار أشباه الموصلات باستخدام جهاز الأوميتر:

إن من أشهر الطرق المستخدمة فى اختبار عناصر أشباه الموصلات استخدام جهاز الأوميتر لقياس المقاومة بين أرجله المختلفة. فجهاز الأوميتر يستخدم لتحديد (القصر - الفتح - تيارات التسرب العالية... إلخ) بالإضافة إلى إنه يستخدم لتحديد الأرجل المختلفة للعنصر فى حالة عدم معرفتها. على سبيل المثال يمكن تحديد قاعدة وباعث ومجمع الترانزستور بالاستعانة بجهاز الأوميتر.

وعادة فإن جهاز الأفوميتر يمكن استخدامه كجهاز أوميتر، ويعمل الأوميتر على

تسليط جهد على أطراف المقاومة المطلوب قياسها ، ويتم قياس التيار المار فى المقاومة. وتبعاً لشدة التيار المار فإن الأوميتر يعطى المقاومة المقابلة، حيث إن تدريجه معاير لإعطاء قراءات مقاومات وليست قراءات تيار، وحيث إن كل أشباه الموصلات حساسة للقطبية لذلك فمن الضرورى معرفة الطريقة التى وصلت بها أطراف جهاز الأوميتر بالعنصر المطلوب اختباره. والجهاز الأوميتر طرفان؛ الأول هو المشترك أو الأرضى أو السالب COMMON ولونه عادة أسود، والثانى الموجب ولونه عادة أحمر.

والجدول (١٠-٥) يبين طريقة استخدام الأوميتر فى اختبار العناصر المختلفة من أشباه الموصلات، فإن تشابهت قراءة الجهاز مع القراءات المبينة فى هذا الجدول دل على أن العنصر سليم، والعكس بالعكس.

الجدول (١٠-٥)

النتائج المتوقعة	الطرف السالب- للأوميتر يتصل بـ	الطرف الموجب+ للأوميتر يتصل بـ	العنصر
مقاومة صغيرة تتراوح ما بين 10:1000Ω ويعتمد ذلك على نوع الثنائى وعلى تدريج الأوميتر المستخدم فيجب استخدام أصغر تدريج.	المهبط Cathode	المصعد Anode	ثنائى P-N (عادى - زينر- ضوئى)
مقاومة كبيرة جداً تصل إلى 1MΩ لثنائى الجرمانيوم أو 10MΩ لثنائى السليكون	المصعد Anode	المهبط Cathode	
يجب تساوى قراءة الأوميتر فى كلا الاتجاهين وتقل مقاومة الخلية فى الضوء.	أى طرف	أى طرف	الخلايا الضوئية Photo Conductive Cells

تابع الجدول (١٠-٥)

النتائج المتوقعة	الطرف السالب- للأوميتر يتصل بـ	الطرف الموجب+ للأوميتر يتصل بـ	العنصر
مقاومة كبيرة جداً إذا لم يتسبب جهد الأوميتر إحداث انهيار لوصلة الباعث والقاعدة	القاعدة Base	الباعث Emitter	ترانزستور NPN
مقاومة صغيرة	الباعث Emitter	القاعدة Base	
مقاومة كبيرة	قاعدة Base	مجمع Collector	
مقاومة صغيرة	مجمع Collector	قاعدة Base	
مقاومة كبيرة	مجمع Collector	باعث Emitter	
مقاومة كبيرة واكبر من الحالة السابقة	باعث Emitter	مجمع Collector	
تتشابه جميع قراءات ترانزستور NPN عدا ان القطبية ستنعكس			ترانزستور PNP
مقاومة كبيرة اكبر من 1MΩ	مهبط Cathode	المصعد Anode	الثنائي الرباعي الطبقات والمفتاح السليكوني الاحادي الاتجاه SUS
مقاومة كبيرة واكبر من السابقة واحيانًا يصعب قراءتها ببعض اجهزة الأوميتر.	مصعد Anode	مهبط Cathode	
مقاومة اكبر من 1MΩ في كلا الاتجاهين	الى طرف	اى طرف	الدياك والمفتاح السليكوني الثنائي الاتجاه SBS
مقاومة اكبر من 1MΩ وتقل كلما زاد تيار الثايرستور	المهبط Cathode	المصعد Anode	الثايرستور- الثايرستور الضوئي - GCS
مقاومة اكبر من 1MΩ ولكنها اكبر من الحالة السابقة.	المصعد Anode	المهبط Cathode	

تابع الجدول (١٠-٥)

النتائج المتوقعة	الطرف السالب- للأوميتر يتصل بـ	الطرف الموجب+ للأوميتر يتصل بـ	العنصر
مقاومة صغيرة (10:1000Ω)	المهبط Cathode	البوابة Gate	
مقاومة كبيرة تصل إلى (1:10MΩ)	البوابة Gate	المهبط Cathode	
اكبر من 1MΩ	المصعد Anode	البوابة Gate	
اكبر من 1MΩ	البوابة Gate	المصعد Anode	
مقاومة اكبر من 1MΩ وتقل كلما زاد تيار التريك	المصعد أو المهبط	المصعد أو المهبط	الترياك Triac
مقاومة صغيرة	المصعد (Anode1)	البوابة Gate	
مقاومة صغيرة	البوابة Gate	المصعد1(Anode1)	
مقاومة كبيرة	المصعد2 (Anode2)	البوابة Gate	
مقاومة كبيرة	البوابة Gate	المصعد 2(Anode2)	
مقاومة تتراوح ما بين 4:10KΩ	القاعدة 2(Base2)	القاعدة 1(Base1)	الترانزستور الاحادى الوصلة UJT
مقاومة تتراوح ما بين 4:10KΩ	القاعدة 1(Base1)	القاعدة 2(Base2)	
مقاومة تتراوح ما بين (3:15KΩ)	القاعدة 1(Base1)	الباعث Emitter	
مقاومة اكبر من 1MΩ	الباعث Emitter	القاعدة 1(Base1)	
مقاومة تتراوح ما بين 2:10KΩ ولكنها اقل من الحالة الثالثة	القاعدة 2(Base2)	الباعث Emitter	
اكبر من 1MΩ	الباعث Emitter	قاعدة 2(Base2)	

تابع الجدول (١٠-٥)

النتائج المتوقعة	الطرف السالب- للأوميتر يتصل بـ	الطرف الموجب+ للأوميتر يتصل بـ	العنصر
مقاومة أكبر من 1MΩ	المهبط Cathode	المصعد Anode	الترانزستور الأحادى
مقاومة أكبر من 1MΩ	المصعد Anode	المهبط Cathode	الوصلة القابلة للبرمجة
مقاومة صغيرة	البوابة Gate	المصعد Anode	PUT
مقاومة كبيرة	المصعد Anode	البوابة Gate	
مقاومة كبيرة	المهبط Cathode	البوابة Gate	
مقاومة كبيرة	البوابة Gate	المهبط Cathode	
مقاومة تتراوح ما بين (500Ω:5kΩ)	المصدر Source	المصرف Drain	ترانزستور JFET بقناة سالبة N
مقاومة تتراوح ما بين (500Ω:5kΩ)	المصرف Drain	المصدر Source	
مقاومة صغيرة	المصدر أو المصرف	البوابة Gate	
مقاومة أكبر من 10MΩ إذا لم يتعد جهد البطارية جهد الانهيار.	البوابة Gate	المصرف أو المصدر	
نفس قراءات ترانزستور JFET بقناة N مع عكس القطبية			ترانزستور JFET بقناة موجبة P
مقاومة أكبر من 10MΩ	المصدر Source	المصرف Drain	ترانزستور MOSFET
مقاومة أكبر من 10MΩ	المصرف Drain	المصدر Source	نوع التعزيز E
مقاومة أكبر من 100MΩ في كلا الاتجاهين	المصدر أو المصرف	البوابة Gate	بقناة N أو قناة P
مقاومة تتراوح ما بين (500Ω:5k)	المصدر Source	المصرف Drain	ترانزستور MOSFET
مقاومة تتراوح ما بين (500Ω:5k)	المصرف Drain	المصدر Source	نوع النضوب D
مقاومة أكبر من 100MΩ	المصدر أو المصرف	البوابة Gate	بقناة N أو قناة P
مقاومة أكبر من 100MΩ	البوابة Gate	المصدر أو المصرف	

المراجع

Refrences

1. MILTONKAUFMAN, ARTHURH SEIDMAN, ed, 1988 HAND BOOK OF ELECTRONICS CALCULATIONS FOR ENGINEERS AND TECHNICIANS. NEW YORK. MC GRAW. HILL

2. JOHNE. LACKEY; JERRYL. MASSEY, ed. 1986. SOLID STATE ELECTRONICS: NEW YORK. CBS COLLEGE PUBLISHING.

3. TIMOTHY J.MALONEY, ed. 1986 INDUSTRIAL SOLID-STATE ELECTRONICS DEVICES AND SYSTEMS. NEWJERSEY PRENTICEHALL, INC., ENGLEWOOD CLIFFS.

4. PAUL HOROWITZ, WINFIELD HILL, ed. 1980. THE ART OF ELECTRONICS, LONDON. NEWYORK. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

5. JAMES T.HUMPHRIES, LESLIEP. SHEETS, ed. 1983. INDUSTRIAL ELECTRONICS. CALIFORNIA BRETON PUBLISHERS.

6. FREDRICK W.HUGHES, ed. 1984. BASIC ELECTRONICS THEORY AND EXPERIMENTATION NEWJERSEY. PRENTICE-HALL, INC., ENGLEWOOD CLIFFS.

7. R.M HARSTON, ed. 1990. POWER CONTROL CIRCIUT MANUAL. OXFORD. HEINEMANN PROFESSIONAL PUBLISHING LTD.

8. JOHN WEBB, KEVIN GRESHOCK, ed 1983. INDUSTRIAL CONTROL ELECTRONICS NEWYORK. MACMILLAN PUBLISHING COMPANY.

9. HUMPHRIES, ed. 1988. MOTORS AND CONTROLS. COLUMBUS. MERELL PUBLISHING COMPANY.

10. RUDOLF F. GRAF., ed, 1989. THE ENCYCLOPEDIA OF ELECTRONICS CIRCIUTS. NEW DELHI. PPB. PUBLICATIONS.

11. JOHN MARKUS, ed. 1980. MODERN ELECTRONIC CIRCIUTS REFERENCE MANUAL. NEWYORK, MCGRAW-HILL BOOK COMPANY.

12. GC LOVEDAY., ed, 1982. ELECTRON IC FAULT DIAGNOSIC SINGAPORE. LONGMAN SCIENTIFIC & TECHNICAL.

13. GC LOVEDAY.

ESSENTIAL ELECTRONICS AN A TO Z GUIDE. LONDON. PITMAN.

14. SIGNETICS., ed, 1977. DATA MANUAL NEWYORK. SIGNETICS CORPORATION.

15. BOYDLARSON, ed 1983. POWER CONTROL ELECTRONICS. NEWJERSEY. PRENTICE HALL, INC., ENGLEWOOD CLIFFS.

محتويات الكتاب

الموضـــوع **الصفحة**

الباب الأول

أشباه الموصلات

الباب الثانى

دوائر مكبرات العمليات .Op.Amp

الباب الثالث

دوائر مصادر القدرة المستمرة المنتظمة وغير المنتظمة

الباب الرابع

دوائر التحكم فى شدة الإضاءة

الباب الخامس

دوائر التحكم فى السخانات الكهربية

الباب العاشر

الصيانة واكتشاف الأعطال